



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VALTTERI MOISIO
AJONEUVOLIIKENTEEN VAIKUTUKSET SILTOJEN KANTA-
VUUSTARKASTELUSSA KÄYTETTÄVIIN KUORMIIN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Anssi Laaksonen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Talouden
ja rakentamisen tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 3. helmikuuta 2016

TIIVISTELMÄ

VALTTERI MOISIO: Ajoneuvoliikenteen vaikutukset siltojen kantavuustarkastelussa käytettäviin kuormiin
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 68 sivua, 32 liitesivua
Huhtikuu 2016
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Rakennesuunnittelu
Tarkastaja: professori Anssi Laaksonen

Avainsanat: ajoneuvoasetus, erikoiskuljetus, kantavuus, liikenne, liikennekuorma, sillat, suunnittelukuorma

Tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää ajoneuvoasetuksen muutoksen sekä reitti- ja reitistöluvilla liikennöivien erikoiskuljetusten vaikutukset olemassa olevien siltojen mitoituskuormien varmuuteen. Tutkimuksessa vertaillaan ajoneuvoliikenteestä aiheutuvia rasituksia Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukaisesta kuormasta sekä suunnittelukuormista LM1/LM3, Lk1/Ek1 ja Ak1/Ek1 aiheutuviin rasituksiin. Ajoneuvoliikenteestä aiheutuvissa rasituksissa on otettu huomioon vain sujuvan liikenteen raskaista ajoneuvoista aiheutuvat pystysuuntaiset kuormat. Siltarakenteiden kestävyyttä, omia painoja tai muita ulkoisia rasitustekijöitä ei ole huomioitu.

Liikenteen ominaisuudet määritettiin liikenteen automaattisista mittauspisteistä sekä akselimassatutkimuksista saatujen tietojen perusteella. Tarkasteltaville erikoiskuljetuksille sovittiin Liikenneviraston kanssa tutkittavat tyypit ja liikennemäärät. Tutkimusta varten määritettiin kaksi liikenneluokkaa, joissa ajoneuvoasetuksen mukaisten raskaiden ajoneuvojen kaistakohtaiset vuosittaiset liikennemäärät ovat 150 000 ja 500 000. Liikennemäärät vastaavat eurokoodin SFS-EN 1991-2 kansallisen liitteen liikenteen luokan 2 ala- ja ylärajaa.

Tutkimus suoritettiin tilastollisin laskelmin, joissa liikenteestä aiheutuvat rasitukset selvitettiin simuloimalla vuosittaisia liikennemääriä kaksiaukkoisten symmetristen palkkimallien yli. Simuloiduille rasituksille muodostettiin vuosittaisten ääriarvojen jakaumat, joiden perusteella laskettiin Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukaisesta kuormasta sekä suunnittelukuormista LM1/LM3, Lk1/Ek1 ja Ak1/Ek1 aiheutuvien rasitusten ylittymisen todennäköisyydet. Lisäksi erikoiskuljetusajoneuvoille tehtiin ajoneuvokohtaiset vertailulaskelmat, joilla selvitettiin suurimmat yksittäisistä erikoiskuljetusajoneuvoista aiheutuvat rasitukset.

Tutkimusta varten mitoituskuormille määritettiin varmuustasot, joihin simuloidun liikenteen rasituksia verrattiin. Tutkimustulosten perusteella suunnittelukuormala LM1/LM3 tai Lk1/Ek1 mitoitetuilla silloilla mitoituskuormien varmuus on riittävä. Joissakin tutkituista tapauksista Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukaisella kuormalla tai suunnittelukuormalla Ak1/Ek1 mitoitetuilla silloilla simuloidut rasitukset ylittävät määritetyn varmuustason.

ABSTRACT

VALTTERI MOISIO: Design loads for bridge bearing capacity determination based on traffic impact analysis

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 68 pages, 32 Appendix pages

April 2016

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Structural Design

Examiner: Professor Anssi Laaksonen

Keywords: vehicle regulation, abnormal transport, bearing capacity, traffic, traffic load, bridges, design load

The aim of this study has been to study the effects of the vehicle regulation change and abnormal transports with route or route network permits on the reliability of existing bridge design load. The study compares stresses caused by vehicular traffic to the stresses from the load according to Siltojen kantavuuslaskentaohje and design loads LM1/LM3, Lk1/Ek1 and Ak1/Ek1. Vehicular traffic stresses take only vertical loads caused by free flowing traffic into account. Durability of bridge structures, dead loads or other external stress factors were not considered.

The traffic composition was determined on the basis of information gathered from automatic traffic measurement points (LAM) and Axle Load Studies. Abnormal transport types and the studied volume were decided in cooperation with The Finnish Transport Agency. Two traffic classes were determined for this study, in which the annual single lane specific traffic volumes for heavy traffic are 150 000 and 500 000. Traffic volumes correspond to the Eurocode SFS-EN 1991-2 National Annex of lower and upper limits of traffic class 2.

The study was performed with statistical calculations, where the stresses caused by traffic were determined by simulating annual traffic volumes over symmetrical two spanned beam structure models. Annual extreme value distributions were determined based on the simulated stresses. These values were then used to calculate exceedance probabilities of stresses based on the load according to Siltojen kantavuuslaskentaohje and the design loads LM1/LM3, Lk1/Ek1 and Ak1/Ek1. In addition, comparative calculations were performed for each individual abnormal transport vehicle in order to determine the greatest stresses caused by single abnormal transport vehicle.

Levels of safety were determined for the design loads in the study, to which the simulated stresses of traffic were compared. According to the results bridges dimensioned with design loads LM1/LM3 or Lk1/Ek1 have sufficient levels of safety. Bridges dimensioned with load according to Siltojen kantavuuslaskentaohje or design load Ak1/Ek1 do not have sufficient level of safety in comparison to the simulated stresses in some of the examined cases.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitokselle. Työ on tehty Destia Oy:n sillansuunnitteluyksikössä osana projektia, jossa tutkitaan ajoneuvoliikenteen vaikutuksia siltoihin. Työn tilaajana oli Liikennevirasto ja työn rahoituksesta vastasivat Liikennevirasto sekä Destia Oy.

Diplomityön tarkastajana on toiminut professori Anssi Laaksonen Tampereen teknilliseltä yliopistolta. Diplomityön ohjaajina ovat toimineet TkL Torsten Lunabba ja DI Kimmo Julku Destia Oy:n sillansuunnittelusta. Liikennevirastosta diplomityön ohjausryhmään kuuluivat DI Heikki Lilja, TkL Timo Tirkkonen, DI Heini Raunio, DI Olli Pyykönen ja DI Marja-Kaarina Söderqvist. Haluan kiittää kaikkia edellä mainittuja työni mahdollistamisesta sekä neuvoista ja kommentteista työn eri vaiheissa.

Tampereella, 19.4.2016

Valtteri Moisio

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen lähtökohdat	1
1.2	Tutkimuksen rajaukset	1
1.3	Tutkimuksen tavoitteet	2
1.4	Tutkimuksen suoritus	2
2.	LÄHTÖKOHDAT	4
2.1	Ajoneuvoasetuksen muutos	4
2.2	Erikoiskuljetukset ja erikoiskuljetusluvut	5
2.3	Vertailtavat suunnittelukuormat	7
2.3.1	Suunnittelukuorma Aki/Ek1	8
2.3.2	Suunnittelukuorma Lki/Ek1	9
2.3.3	Suunnittelukuorma LM1/LM3	10
2.4	Tiesiltojen määrät	11
3.	LASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT	13
3.1	Yleistä	13
3.2	Ajoneuvot	13
3.2.1	Ajoneuvoasetuksen mukaiset ajoneuvot	14
3.2.2	Erikoiskuljetusajoneuvot	17
3.3	Laskentamenetelmät	18
3.4	Kuormien poikkisuuntainen jakautuminen	19
4.	STAATTISET LASKELMAT	22
4.1	Ajoneuvot	22
4.2	Siltojen kantavuuslaskentaohjeen kuorma	24
5.	LIIKENTEEEN SIMULOINTI	28
5.1	Yleistä	28
5.2	Simulaation kulku	28
5.3	Liikenneluokat	30
5.4	Ajoneuvot ja ajoneuvojakaumat	31
5.5	Ajoneuvojonot ja kohtaaminen	34
5.6	Dynaaminen kerroin	35
6.	TULOKSET	38
6.1	Staattiset tulokset	38
6.2	Simuloidut tulokset	43
6.3	Simuloitujen tulosten herkkyystarkastelut	45
6.3.1	Ajoneuvon kokonaismassan rajoittaminen	45
6.3.2	Erikoiskuljetusajoneuvojen liikennemäärät	46
6.4	Kuormien ylitystodennäköisyydet	47
6.4.1	Varmuustasot	50
6.4.2	Rasitusten pienennyskertoimet	51

6.5	Simuloitujen rasitusten pienentäminen	54
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET	58
7.1	Ajoneuvojen teoreettiset painorajoitukset.....	58
7.1.1	Suunnittelukuorma LM1/LM3	59
7.1.2	Suunnittelukuorma LkI/Ek1	59
7.1.3	Suunnittelukuorma AkI/Ek1	60
7.1.4	Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukainen kuorma	61
7.2	Jatkotutkimustarpeet.....	64
8.	LÄHDELUETTELO	66

LIITE A: AJONEUVOJEN AKSELIKAAVIOT

LIITE B: SUUNNITTELUKUORMIEN RASITUKSET JA SIMULOIDUT RASITUKSET

LIITE C: ERIKOISKULJETUSAJONEUVOJEN VASTAAVUUSVERTAILU

LIITE D: RASITUSTEN YLITYKSIEN TODENNÄKÖISYYDET

LIITE E: SIMULOITUJEN RASITUSTEN PIENENNYSKERTOIMET

LIITE F: VARMUUSTASON VAIKUTUS RASITUSTEN PIENENNYSKERTOIMIIN

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AA13	Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukainen kuorma, joka koostuu kahdesta kuormakaaviosta AA13/76 tai AA13/42 tai kuormakaaviosta ja pintakuormasta $4,5 \text{ kN/m}^2$
AA13/42	Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukainen 42 tonnin kuormakaavio
AA13/76	Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukainen 76 tonnin kuormakaavio
AkI	Rakenteiden kuormitusnormien tavallinen liikennekuorma
BPUMB	Betonipumppuauto
DUMP	Dumpperi
Ek1	Rakenteiden kuormitusnormien ja Tiehallinnon Siltojen kuormat raskas erikoiskuorma
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EN	Eurokoodi-suunnittelustandardi
HCT	Lyhenne HCT tulee sanoista High Capacity Transport. Se on kansainvälisesti vakiintunut termi normaalia pidemmille tai raskaammille yhdistelmille tieliikenteessä, joita ei kuitenkaan pidetä erikoiskuljetuksina. Erikoiskuljetuksissa suurempi mitta tai massa syntyy yksittäisen kappaleen suuresta koosta tai painosta. HCT-kuljetuksissa suurempi pituus tai paino syntyy suuremmasta tavaramäärästä.
KAIP	Kuorma-auto ilman perävaunua
KAPP	Kuorma-auto puoliperävaunulla
KAVP	Kuorma-auto varsinaisella perävaunulla
LA	Linja-auto
LAM	Liikenteen automaattinen mittaus
LAV	Lavettiajoneuvo
LkI	Tiehallinnon Siltojen Kuormat liikennekuormakaavio
LM1	Standardin EN 1991-2 liikennekuormakaavio 1
LM3	Standardin EN 1991-2 liikennekuormakaavio 3
METS	Metsäkoneen kuljetusajoneuvo
NA	Ajoneuvonosturi
μ	Keskiarvo
σ	Keskihajonta
m_{char}	Ajoneuvon kokonaismassan ominaisarvo
m_{max}	Ajoneuvon kokonaismassan yläraja

TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

Ajokaista	Ajokaista on tiemerkinnoin osoitettu tai muuten ajoneuvolle riittävän leveä ajoradan pituussuuntainen osa.
Ajoneuvojakauma	Ilmoittaa erilaisten ajoneuvotyyppien suhteelliset osuudet kokonaisliikennemäärästä.
Ajoneuvojono	Ajoneuvojono on peräkkäisistä, riittävän lähellä toisiinsa kulkevista, ajoneuvoista koostuva jono.
Akselijono	Akselijono on ajoneuvojonon peräkkäisten ajoneuvojen akseleista koostuva jono.
Akseliryhmä	Akselityhmällä tarkoitetaan akseleita, jotka ovat telin osia. Kahden akselin ryhmää kutsutaan kaksiakseliseksi teliksi ja kolmen akselin ryhmää kolmiakseliseksi teliksi. Yksittäisakseli muodostaa yhden akselin ryhmän.
Asetuksen mukainen ajoneuvo	Ajoneuvo, joka ei ylitä ajoneuvoasetuksessa määritellyjä mitta- ja massarajoja.
Dynaaminen kerroin	Sillalla olevasta ajoneuvosta aiheutuvat dynaamiset vaikutukset huomioonottava kerroin.
Erikoiskuljetusajoneuvo	Ajoneuvo, joka ylittää ainakin yhden tiellä yleisesti sallitun mitta tai massarajan (erikoiskuljetus).
Kuormakaista	Kaista, jolle sijoitetaan siltojen mitoituksessa käytettävät kuormakaaviot.
Liikenneluokka 1	Tässä tutkimuksessa käytetty raskaiden ajoneuvojen kaistakohtainen vuosittainen liikennemäärä, joka on 500 000.
Liikenneluokka 2	Tässä tutkimuksessa käytetty raskaiden ajoneuvojen kaistakohtainen vuosittainen liikennemäärä, joka on 150 000.
Log-normaalijakauma	Jakauma, jota satunnaismuuttaja noudattaa parametrein μ ja σ^2 . Merkitään $\text{LogN}(\mu, \sigma^2)$.
Ominaisarvo	Perusarvo, jota ei ole kerrottu osavarmuusluvulla
Osavarmuusluku	Luku, jolla ominaisarvoa kertomalla saadaan mitoitussarvo.

Pienennyskerroin	Kerroin, jolla rasitusten keskiarvoa ja keskihajontaa pienennetään.
Reitistö lupa	Erikoiskuljetukseen vaadittava lupa, jolla voi liikennöidä tietyllä reitistöllä.
Reittilupa	Erikoiskuljetukseen vaadittava lupa, jolla voi liikennöidä tietyllä reitillä yhteen suuntaan.
Siltasääntö	Rajoittaa ajoneuvon tai ajoneuvoyhdistelmän massan ja äärimmäisten akselien välisen etäisyyden suhdetta.
Teli	Kahdesta tai useammasta akselistä koostuva akselistorakenne, jossa akselien välinen kuormitus jakautuu määräsuhteessa.
Tiesilta	Tiesillat käsittävät Liikenneviraston omistamat ajoneuvoliikenteen ja kevyen liikenteen sillat.
Varmuustaso	Todennäköisyys, jolla simuloitu rasitus vuosittain ylittää vertailtavasta kuormasta aiheutuvan rasituksen.

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen lähtökohdat

Suomen taloudellista kilpailukykyä pyrittiin parantamaan vuonna 2013 voimaan tulleella ajoneuvoasetuksella, jossa ajoneuvojen suurimpia sallittuja akseli- ja kokonaismassoja korotettiin [1]. Ajoneuvoasetuksen mukaisten raskaiden ajoneuvojen lisäksi siltojen raskautuksia lisäävät raskaat erikoiskuljetukset, joita tienpitäjä sallii sekä yksittäisinä erikoiskuljetuksina että toistuvina kuljetuksina reittikohtaisilla luvilla. Painavampien ajoneuvojen sallimisen tarkoituksena on tavaraliikenteen tehostaminen. Tämä vaatii tie- ja katuverkolta kykyä välittää raskaampia ajoneuvoja. Ennen 1970-lukua suunnitellut tiesillat saattavat muodostaa pullonkauloja liian pienen kantavuutensa takia. Myöhemmin suunnitelluilla silloilla ongelmia saattaa syntyä suurimpien erikoiskuljetusten osalta.

Kasvaneiden ajoneuvokuormien johdosta päädyttiin tarkastamaan vuonna 2010 eurokoodien mukanaan tuomaa liikennekuormakaaviota LM1, jonka tarkoituksena on määrittää sillat normaalille tieliikenneläisissä määritellyille liikenteelle. Tutkimus suoritettiin vuosina 2013 - 2014 Destia Oy:n ja A-insinöörit Oy:n yhteistyönä liikenneviraston tilauksesta. Tutkimuksessa muuttuneen ajoneuvoasetuksen mukainen odotettavissa oleva liikenne simuloitiin silloille ja tuloksia verrattiin eurokoodin LM1 kuormaan [2]. Tämän perusteella korjattiin liikennekuormakaavion LM1 kansallisesti valittavia parametreja. Lisäksi päädyttiin korottamaan pysyvien kuormien varmuuskerrointa. Tutkimuksen tulosten perusteella tehtiin päivitykset eurokoodin soveltamisohjeeseen Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1, joka julkaistiin vuonna 2014.[3].

Loppuvuodesta 2014 Destia Oy aloitti Liikenneviraston tilauksesta projektin, jossa selvitettiin tilastollisin menetelmin siltojen kantavuustarkasteluissa käytettävälle pintalakuormalle sopivaa intensiteettiä. Tämä diplomityö liittyy kyseisen projektin tutkimuksiin, joissa selvitetään liikennemäärien ja erikoiskuljetusten vaikutuksia liikennekuormiin.

1.2 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksessa tarkastellaan ajoneuvoliikenteen pystysuorista kuormista siltojen kansirakenteille aiheutuvia raskautuksia. Kuormien oletetaan aiheutuvan vuoden 2013 ajoneuvoasetuksen mukaisista raskaista ajoneuvoista ja reitti- tai reitistöluvilla kulkevista erikoiskuljetusajoneuvoista, jotka kulkevat muun liikenteen seassa ilman viranomaisvalvontaa. Rakenteiden omaa painoa tai muita ulkoisia kuormia ei oteta huomioon.

Tarkasteluja varten on määritetty kaksi liikenneluokkaa, joilla on erilaiset ajoneuvoasetuksen mukaisten raskaiden ajoneuvojen sekä erikoiskuljetusajoneuvojen vuosittaiset liikennemäärät sekä ajoneuvojakaumat.

Vertailuihin valitut, käytöstä poistetut, suunnittelukuormat AkI, Ek1 ja LkI, Ek1 edustavat suurta osaa niistä silloista, joilla tutkimukseen valitut ajoneuvot voivat liikennöidä ilman valvontaa tai rajoituksia. Vanhojen suunnittelukuormien lisäksi vertailuja tehdään Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisella kuormalla AA13 sekä nykyisellä suunnittelukuormalla LM1, LM3.

Simuloinneissa on otettu huomioon vain sujuva liikenne. Liikenneviraston automaattisissa liikenteen mittauspisteissä ei ole havaittu sellaista ruuhkautunutta ja tiiviiksi jonoiksi muodostuvaa liikennettä, missä raskailla ajoneuvoilla olisi merkittävää osuutta. Raskaista ajoneuvoista muodostuvia hitaasti matelevia jonoja on kuitenkin satunnaisesti havaittu. Destia Oy:n ja A-insinöörit Oy:n yhteistyönä tehdyssä tutkimuksessa ruuhkatilanne muodostettiin keinotekoisesti. Simuloinneissa ruuhkasta saatiin määräävä vaikutus suuremmilla jännemitoilla erityisesti välitukien rasituksia arvioitaessa [2]. Pysähtyneet jonot on tarkoitettu tutkia myöhemmin erillisenä tutkimuksena. Tästä diplomityöstä ne on kuitenkin rajattu pois.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksessa esitetään yksinkertaistetut ajoneuvojakaumat tavalliselle raskaalle liikenteelle ja erikoiskuljetusajoneuvoille. Ajoneuvojakaumien perusteella tarkastellaan ajoneuvoasetuksen mukaisesta liikenteestä aiheutuvia rasituksia, sekä ilman erillistä valvontaa normaalin liikenteen seassa kulkevien erikoiskuljetusajoneuvojen vaikutuksia rasituksiin.

Tavoitteena on tilastollisin laskelmin selvittää olemassa olevien siltojen mitoituskuormien varmuus ajoneuvoliikenteestä aiheutuville rasituksille. Laskelmien tuloksia voidaan hyödyntää painorajoitusten asettamisessa sekä erikoiskuljetusten sallimisesta tai rajoittamisesta vanhoilla suunnittelukuormilla suunnitelluille silloille.

1.4 Tutkimuksen suoritus

Tutkimuksen alussa määriteltiin ajoneuvoasetuksen mukaisten raskaiden ajoneuvojen ja erikoiskuljetusajoneuvojen tyypit, painojakaumat ja vuosittaiset liikennemäärät. Ajoneuvoasetuksen mukaisista ajoneuvoista tiedot kerättiin aiempien tutkimusten tuloksista ja lähtötiedoista. Erikoiskuljetusajoneuvoista tietoja saatiin ajoneuvojen valmistajien ilmoittamista tiedoista sekä liikennöitsijöiden erikoiskuljetuslupahakemuksista. Selvitettyjen tietojen perusteella suoritettiin staattiset vertailulaskelmat sekä luotiin keinotekoinen liikenne tarkasteltaville silloille simuloimalla.

Yksittäisten raskaiden ajoneuvojen ja erikoiskuljetusajoneuvojen staattiset vertailulaskelmat tehtiin Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisesti. Saatuja staattisia vertailuarvoja verrattiin edelleen vanhoilla ja nykyisillä suunnittelukuormilla laskettuihin staattisiin rasituksiin, jolloin saatiin selville myös kantavuuslaskentaohjeen ja suunnittelukuormien välinen suhde.

Liikennesimulaatiot suoritettiin kahdessa eri tilanteessa, joista ensimmäisessä sillalle simuloitiin vain ajoneuvoasetuksen mukaisia raskaita ajoneuvoja ja toisessa ajoneuvoasetuksen mukaisten raskaiden ajoneuvojen kanssa sillalla kulkivat myös erikoiskuljetusajoneuvot. Molemmat tilanteet tarkasteltiin kahdella erilaisella raskaiden ajoneuvojen vuosittaisella liikennemäärällä. Tämän tutkimuksen simulointeja varten määritettiin jaksottainen dynaaminen kerroin, jonka avulla voitiin jäljitellä sillalla liikkuvasta ajoneuvosta todellisuudessa aiheutuvia pystysuuntaisia kuormia.

Liikennesimulaatioiden tuloksina saatujen rasitusten ääriarvojakaumien perustella laskettiin vuosittaiset suunnittelukuormien ja Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisen kuorman ylityksen todennäköisyydet. Kuormille lähtötietoina asetettujen varmuustasovaatimusten perusteella määritettiin suositukset painorajoitusten asettamisesta vanhoilla suunnittelukuormilla suunnitelluilla silloilla sekä erityyppisten erikoiskuljetusten painojen rajoittamisesta.

2. LÄHTÖKOHDAT

2.1 Ajoneuvoasetuksen muutos

Suomessa tuli voimaan 1.10.2013 uusi asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä 6.6.2013/407. Uudessa asetuksessa korvattiin, 1.1.1993 lähtien voimassa olleen asetuksen 4.12.1992/1257, ajoneuvoja koskevat rajoitukset. Muutetussa asetuksessa korotettiin raskaiden ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurimpien sallittujen kokonaismassojen ja korkeuksien ylärajoja. Lisäksi akseliryhmille kohdistuvia suurimpia sallittuja massoja korotettiin. Painavimman sallitun ajoneuvoyhdistelmän kokonaismassaraja korotettiin 60 tonnista 76 tonniin, kuitenkin niin että kokonaismassan kasvaessa ajoneuvoyhdistelmässä tulee olla enemmän akseleita. [5] [6]

Merkittävimpiä ajoneuvojen kokonaismassarajojen korotuksia olivat neliakselisen ajoneuvon kokonaismassarajan korotus 32 tonnista 35 tonniin ja viisiakselisen ajoneuvon kokonaismassarajan korotus 38 tonnista 42 tonniin. Ajoneuvojen akseliryhmiä koskevissa muutoksissa kaksiakselisen akseliryhmän suurin sallittu kuorma korotettiin 19 tonnista 21 tonniin ja kolmiakselisen akseliryhmän 24 tonnista 27 tonniin. Uusina ajoneuvoyhdistelminä ajoneuvoasetus sallii kahdeksan- ja yhdeksänakseliset ajoneuvoyhdistelmät, joiden kokonaismassarajat ovat 68 tonnia kahdeksanakseliselle ja 76 tonnia yhdeksänakseliselle ajoneuvoyhdistelmälle. [5] [6]

Kuljetuskaluston äkillisen uusimistarpeen lieventämiseksi vanhan asetuksen mukaiselle kalustolle sallitaan viiden vuoden ajan suurempia massoja. Kaksiakseliselle ajoneuvolle siirtymäajan suurin sallittu kokonaismassa on 20 tonnia asetuksen mukaisen 18 tonnin sijaan. Kolmiakseliselle ajoneuvolle sallitaan 28 tonnia 26 tonnin sijaan. Seitsemänakselisen ajoneuvoyhdistelmän 60 tonnin kokonaismassaraja on siirtymäaikana korotettu 64 tonniin. [5] [6]

Vaikka suurimmat sallitut kokonaismassat kasvoivat, ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurimmat sallitut pituudet eivät muuttuneet uuden asetuksen myötä. Tästä johtuen vanhan asetuksen mukaisen siltasäännötkin muuttuivat.

”Auton ja siihen kytketyn perävaunun tai kytkettyjen perävaunujen muodostaman massaltaan yli 44 tonnin ajoneuvoyhdistelmän massa ei kuitenkaan saa ylittää määrää, joka saadaan lisäämällä 20 tonniin 320 kg jokaiselta 0,10 metriltä, jonka ajoneuvon tai ajoneuvoyhdistelmän äärimmäisten akselien väli ylittää 1,80 metriä.” [6]

Vanhassa asetuksessa sääntö oli muuten sama, mutta jokaiselta 0,10 metriltä lisättiin vain 270 kg uuden asetuksen mukaisen 320 kg sijaan. [5] [6]

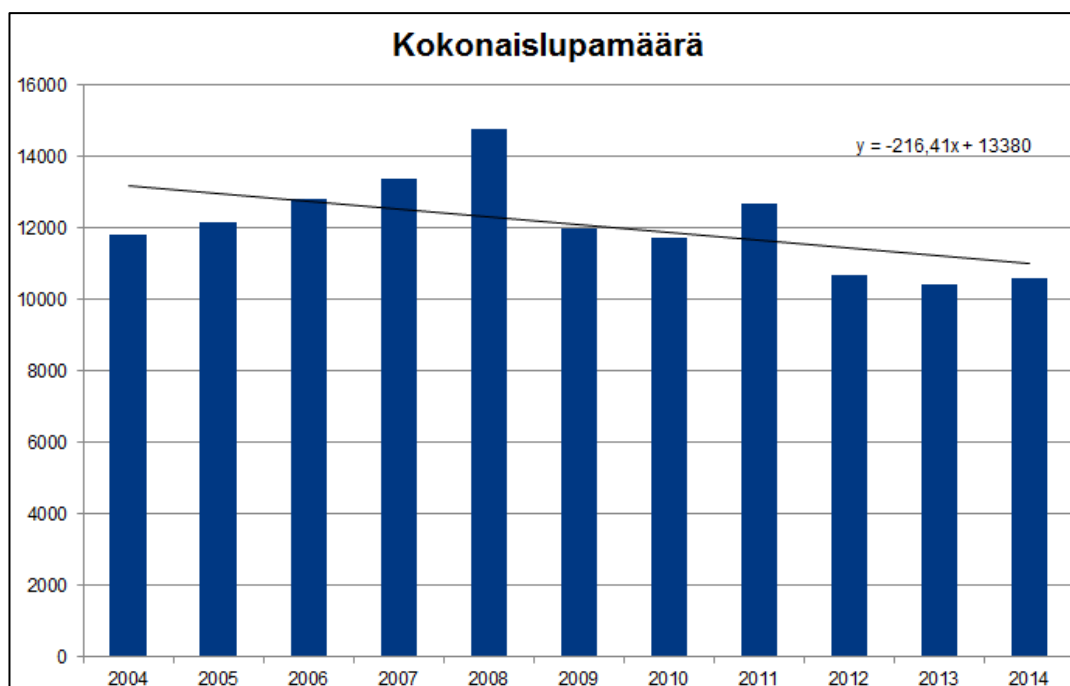
2.2 Erikoiskuljetukset ja erikoiskuljetusluvut

Kuljetukselle pitää hakea erikoiskuljetuslupaa, jos kuljetus ylittää ajoneuvoasetuksessa määritellyt mitta- tai massarajat. Erikoiskuljetuksia käytetään, kun jakamatonta esinettä ei ole turvallista tai taloudellisesti mahdollista kuljettaa pienemmissä osissa. Suomessa erikoiskuljetuslupaa myöntää Pirkanmaan ELY-keskus Ahvenanmaata lukuun ottamatta. Erikoiskuljetuslupa voidaan myöntää reittikohtaisena tai tietyille valtakunnalliselle tai alueelliselle reitistölle. Reitikohtainen lupa on voimassa vain tietyille ajoreitille yhteen suuntaan. Reitistöluvassa määritellään tiet ja sillat, joilla kyseisellä luvalla saa liikennöidä. Taulukossa 1 on esitetty valtakunnallisten reitistöjen Y80 ja Y120 ajoneuvoja ja akseleita koskevat massarajat. [7] [8]

Taulukko 1. Reitistöjen Y80 ja Y120 massarajat [8]

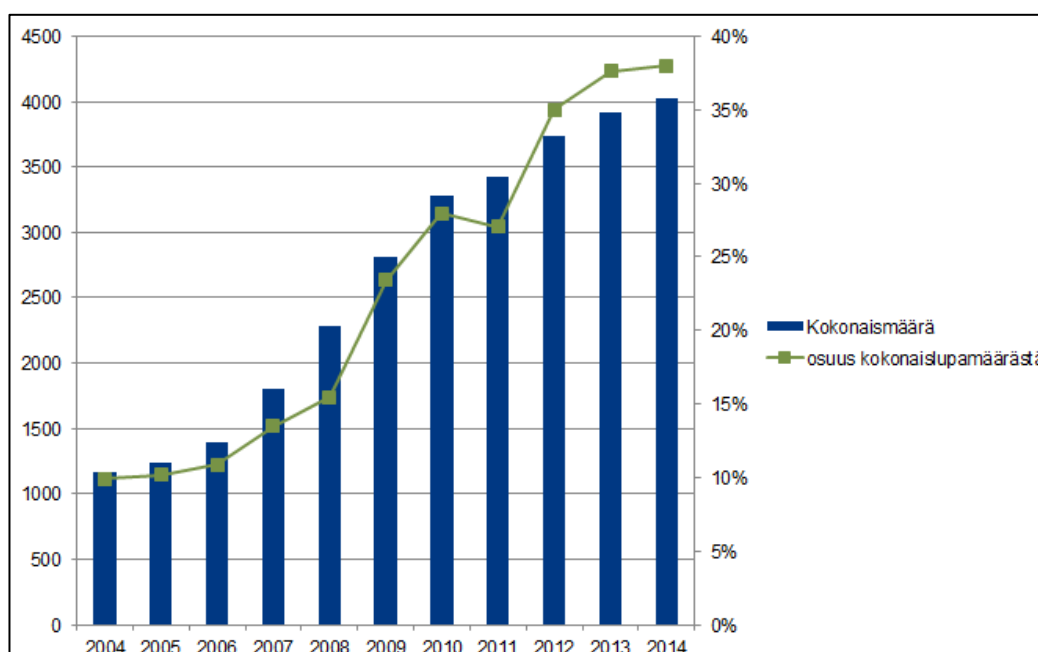
Reitistön nimi	Puoli- ja varsinaisen perävaunun akselimassat, tonnia, o=akseli					Kuorma-auton, kok. massa, tonnia			Mitat		
	o	oo	ooo	4xo	5xo	3 - aks	4 - aks	5 - aks	Korkeus	Leveys	Pituus
Y80 Yleisreitistö Suomi	15	14	12	10	8,5	38	45	48	4,4	6,0	40,0
Y120 Raskaat yhdistelmät Suomi	15	15	13	12	10	39	46	48	4,4	6,0	40,0

Viimeisen 10 vuoden aikana erikoiskuljetuslupien määrä on ollut noin 10 000-15 000 erikoiskuljetuslupaa vuodessa. Erikoiskuljetuslupien määrät ovat viimeisen vuosikymmenen aikana seurailleet talouden suhdanteita. Lupien määrä on vähentynyt huippuvuoden 2008 lupamäärästä ja viime vuosina määrä on ollut noin 10 000 kpl. Kuvassa 1 on esitetty ulkomitoista ja painoista johtuvat erikoiskuljetuslupien määrät vuosilta 2004 - 2014. Kokonaislupamäärä ei suoraan kerro suoritettujen erikoiskuljetusten määrää. Toituneiden erikoiskuljetusten määristä ei ole tarkkaa tietoa, koska reitti- ja reitistökohdaiset erikoiskuljetusluvut myönnetään tietyille ajanjaksolle, jolla kuljetuskertojen määrää ei ole rajattu tai tilastoitu. Kuljetusten painon ollessa 80 - 120 tonnia, samalla luvalla tehtyjä kuljetuksia saattaa vuodessa olla useita kymmeniä tai jopa satoja. Painon kasvaessa yli 120 tonnina, samalla luvalla tehtyjen kuljetusten määrät vähenevät selvästi, mutta yli 200 tonninkin luvilla saatetaan tehdä 5 - 15 kuljetusta. [9]



Kuva 1. Erikoiskuljetuslupien määrä vuosina 2004 – 2014 [9]

Reitistö lupien kokonaismäärä ja suhteellinen osuus kaikista luvista on esitetty kuvassa 2. Kokonaismäärä ja suhteellinen osuus ovat kasvaneet huomattavasti kuluneen 10 vuoden aikana.



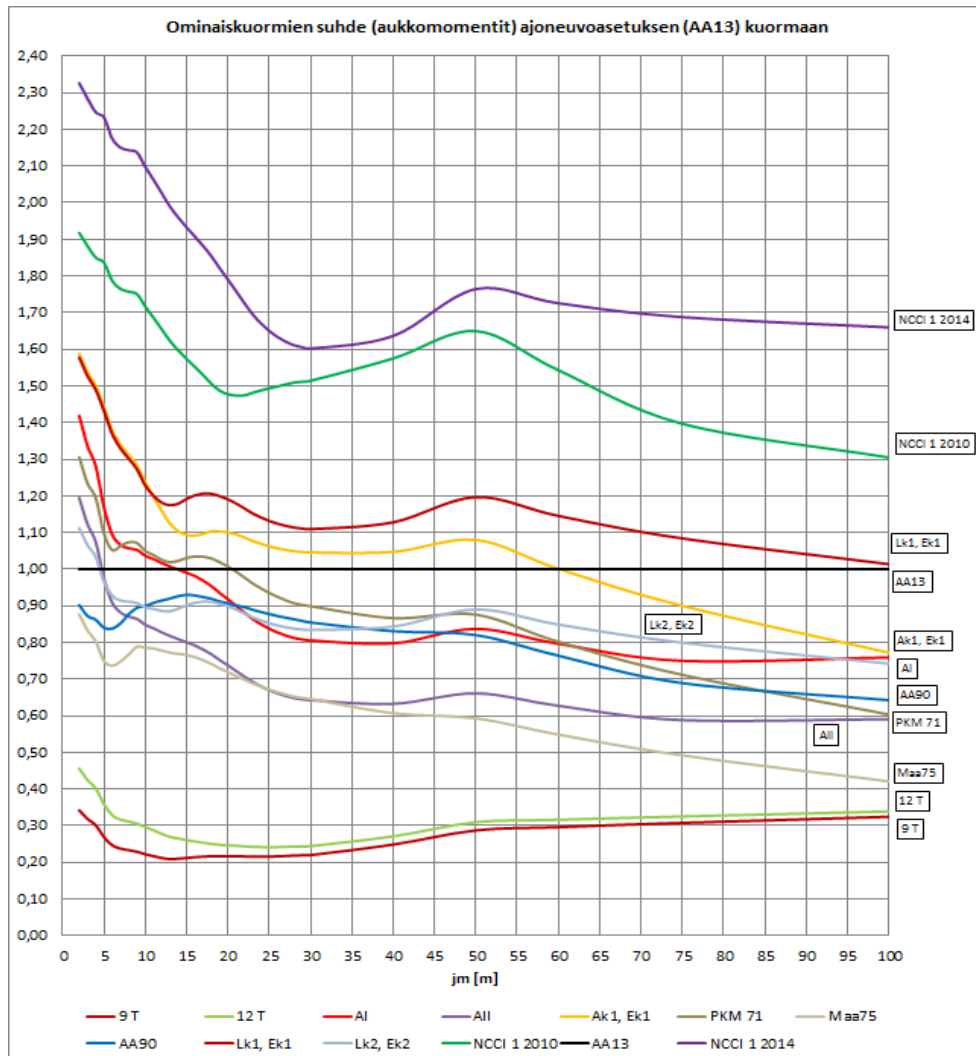
Kuva 2. Reitistö lupien kokonaismäärä ja suhteellinen osuus kaikista myönnettyistä erikoiskuljetusluvista vuosina 2004 – 2014 [9]

Vuonna 2004 reitistö lupia myönnettiin hieman yli 1000 kappaletta ja vuonna 2014 noin 4000 kappaletta. Reitistö lupien suhteellinen osuus kaikista luvista on kasvanut lähes

yhä voimakkaasti. Vuonna 2014 suhteellinen osuus oli lähes 40 %, joka on noin kolminkertainen vuoden 2004 osuuteen verrattuna. [9]

2.3 Vertailtavat suunnittelukuormat

Normaalin ajoneuvoasetuksen mukaisen liikenteen ja erityyppisten erikoiskuljetuksien rasituksia verrataan mitoituksessa käytettyihin suunnittelukuormiin AkI, Ek1; LkI, Ek1 ja LM1, LM3, jotka kattavat pääosin yleisten teiden siltojen suunnittelukuormat vuodesta 1969 alkaen. Vertailu tehdään tilastollisin menetelmin laskien todennäköisyyttä sille, että ko. suunnittelukuorma ylittyy. Karkean kokonaiskuvan suunnittelukuormien suuruussuhteista saa kuvasta 3, jossa kustakin suunnittelukuormasta aiheutuvia rasituksia verrataan Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisesta kuormasta aiheutuviin rasituksiin.



Kuva 3. Kahden kuormakaistan ominaisarvoilla laskettujen aukkomenttien suhteet Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisen kuorman aukkomenttiin symmetrisellä kaksiaukkoisella sillalla.

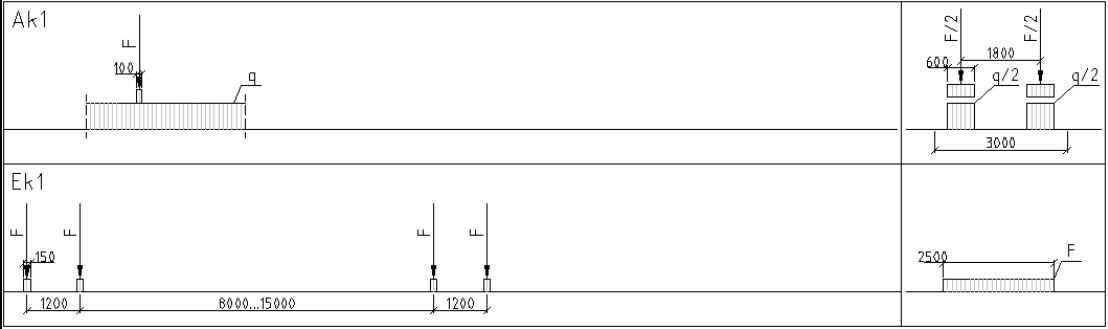
2.3.1 Suunnittelukuorma AkI/Ek1

Liikennekuorma AkI oli suunnittelukuormana vuodesta 1969 vuoteen 1971 [10]. Liikennekuorman AkI aikakaudella käytössä oli sallittujen jännitysten menetelmä, jossa materiaaliarvot jaettiin kokonaisvarmuuskertoimella ja rasitukset laskettiin nimelliskuormista. Kuormakaavio AkI koostui yhdestä akselikuormasta, jonka paino oli 140 kN, sekä nauhakuormasta 2,4 kN/m. Akselikuorman ja nauhakuorman sijoittelu on esitetty kuvassa 4. Yli 15 metrin jännemitoilla nauhakuormalle käytettiin yksikötöntä pienennyskerrointa

$$k = \frac{1}{4} \times \left(1 + \frac{90}{L+15}\right) \geq 0,5, \quad (2.1)$$

jossa k on nauhakuormalle käytettävä pienennyskerroin kerroin ja L on jännemitta metreinä.

Kuormat sijoiteltiin ajokaistojen lukumäärän mukaisesti 3,0 metrin kuormakaistoille, joista kahdelle ensimmäiselle kuorma tuli sellaisenaan. Kolmannelle ja sitä seuraaville kaistoille kaikki kuormat puolitettiin. [11]

Ak1, Ek1 ⁽⁶⁾	Ak1:	Kaista 1: F=140 kN q=12-24 kN/m ⁽³⁾	Ak: 1,4	1,5 ⁽⁹⁾
1969		Kaista 2: F=140 kN q=12-24 kN/m ⁽³⁾		
Sallitut		Kaista 3: q=12-24 kN/m ⁽³⁾		
jännitykset	Ek1:	Kaista 1: F=300 kN	Ek: 1,4	
				

Kuva 4. Kuormakaaviot AkI ja Ek [4]

Akseli ja nauhakuorman muodostamalle kokonaiskuormalle käytettiin tässä tutkimuksessa osavarmuuslukua 1,5, joka vastaa keskimäärin liikennekuorman varmuuden osuutta kokonaisvarmuudesta. Akselikuormille käytettiin lisäksi dynaamista suurennuskerrointa, jonka suuruus oli puusilloilla 1,2 ja muun tyyppisillä silloilla 1,4. Tässä tutkimuksessa liikennekuorman AkI akselikuormien dynaamisena suurennuskertoimenä on käytetty lukua 1,4. [11]

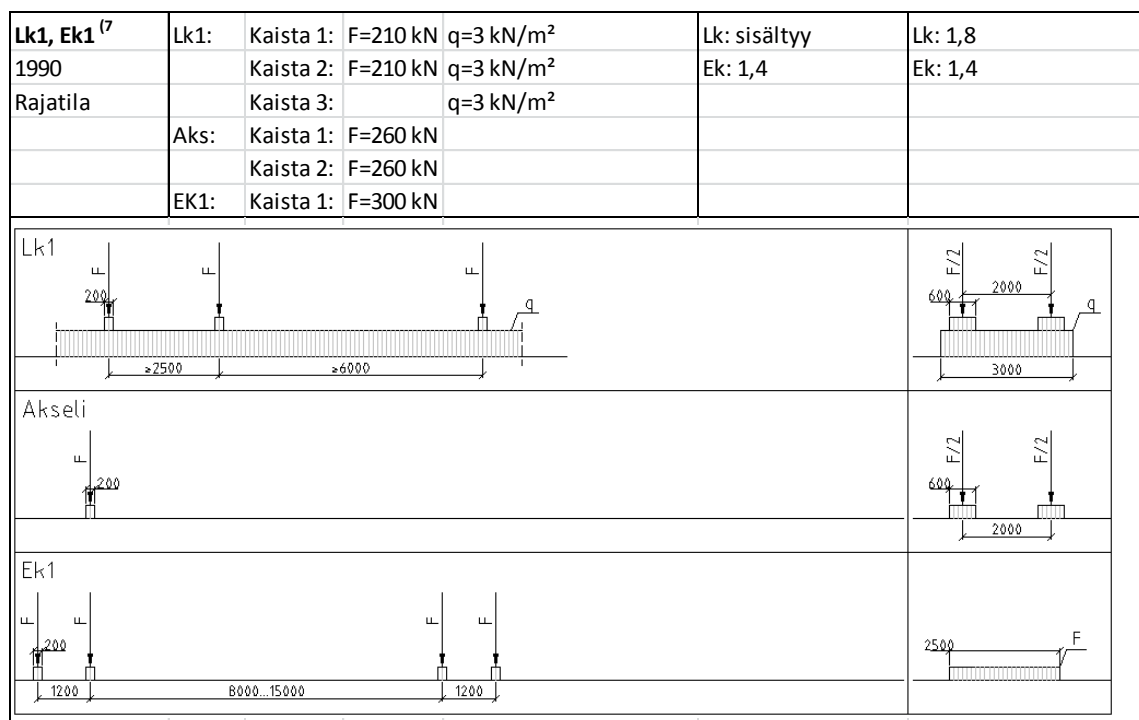
Raskas erikoiskuorma Ek1 otettiin käyttöön vuonna 1969 [10]. Kuormakaavion Ek1 kokonaispaino oli 1200 kN ja se koostui neljästä 300 kN akselista, joiden sijoittelu on

esitetty kuvassa 4. Akselikuormien leveys oli 2,5 metriä ja kuormakaavion kokonaisleveys oli 4,0 metriä. [11]

Raskaan erikoiskuorman ei oletettu kuormittavan siltaa samanaikaisesti tavallisen liikennekuorman kanssa. Erikoiskuormalle Ek1 dynaaminen suurennuskerroin määriteltiin samoin kuin liikennekuorman AkI akselikuormille ja tässä tutkimuksessa sille käytettiin arvoa 1,4. Murtorajatilien osavarmuuslukuna erikoiskuormalle Ek1 käytettiin tässä tutkimuksessa arvoa 1,2. Erikoiskuorma luokiteltiin vuoden 1969 Rakenteiden kuormitusnormien mukaan harvinaiseksi kuormitukseksi ja tällöin käytettiin alennettuja varmuuskertoimia. [11]

2.3.2 Suunnittelukuorma LkI/Ek1

Vuonna 1971 Suomessa käyttöön otettiin yhteispohjoismainen mitoituskuorma PKM 71, jonka 3,0 metriä leveä kuormakaavio sisälsi kolme 210 kN akselikuormaa ja nauha-kuorman 9 kN/m. Kuormakaavio säilytettiin sellaisenaan vuonna 1975 julkaistuissa Kuormitusmääräyksissä RIL 59 ja sille annettiin nimi LkI [10]. Kuormakaavio LkI oli käytössä Tiehallinnon ohjeessa Siltojen kuormat [12] vuoteen 2010 asti, jolloin siirryttiin eurokoodeihin. Kuormakaavion LkI akselikuormien sijoittelu on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Kuormakaaviot LkI ja Ek1 [4]

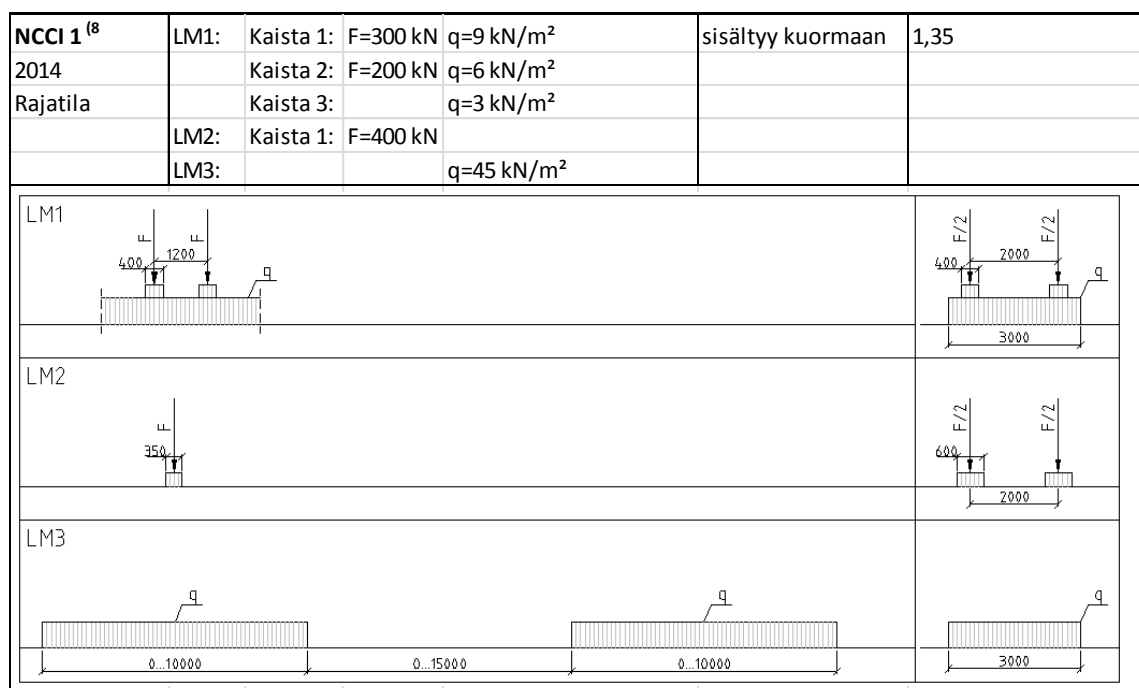
Murtorajatilassa kuormakaaviolle LkI käytettiin osavarmuuslukua 1,8. Dynaaminen suurennuskerroin oli jo sisällytetty kuormiin. Raskaat erikoiskuormat otettiin huomioon suunnittelukuorman LkI kanssa kuvan 5 mukaisella kuormakaaviolla Ek1. Raskaalle

erikoiskuormalle käytetty dynaaminen suurennuskerroin oli 1,4 ja murtorajatilán osavarmuusluku oli 1,4.

2.3.3 Suunnittelukuorma LM1/LM3

Eurokoodien mukainen kuormakaavio LM1 on ollut suunnittelukuormana yleisten teiden silloilla vuodesta 2010. Kansallisessa liitteessä määritellyjä kansallisia kuormien sovituskertoimia korotettiin vuonna 2014 [13].

Kuormakaavion LM1 avulla pyritään kattamaan nykyisestä ajoneuvoliikenteestä aiheutuvat rasitukset [14]. Kuormakaavio koostuu tasaisesti jakautuneesta kuormasta, jonka intensiteetti ensimmäisellä kuormakaistalla on 9 kN/m^2 ja toisella 6 kN/m^2 sekä teli-kuormasta, jonka molempien akseleiden kuormat ovat ensimmäisellä ja toisella kuormakaistalla 300 kN. Muille kaistoille ja kaistojen ulkopuoliselle alueelle sijoitetaan vain tasaisesti jakautunut kuorma, jonka intensiteetti on 3 kN/m^2 . Kuvassa 6 on esitetty kahdelle ensimmäiselle kolme metriä leveälle kuormakaistalle tulevat kuormat. [3]



Kuva 6. Kuormakaaviot LM1, LM2 ja LM3[4]

Kuormia ei kerrota erillisellä dynaamisella suurennuskertoimella, vaan se on jo sisällytetty kuormiin. Murtorajatilassa kuormakaaviole LM1 käytetään osavarmuuskerrointa 1,35. [3]

Kuormakaavio LM3 määritellään eurokoodin kansallisessa liitteessä ja se on säilynyt sellaisenaan vuodesta 2010 [13]. Kuvassa esitetyllä kuormakaaviolla LM3 otetaan huomioon ylliraskaasta erikoiskuormasta aiheutuvat rasitukset [14]. Kuormakaavio LM3 voi sijaita yhdellä kolme metriä leveällä kuormakaistalla kerrallaan. Se koostuu kahdes-

ta erillisestä peräkkäisestä 3,0 metriä leveästä ja 0-10 metriä pitkästä tasaisesti jakautuneesta kuormasta 45 kN/m^2 , joiden välinen etäisyys on 0-15 metriä. [3]

Kuormakaavion LM1 tapaan kuormakaavion LM3 dynaaminen suurennusvaikutus on jo sisällytetty kuormaan ja murtorajatilan osavarmuusluku on 1,35 [3].

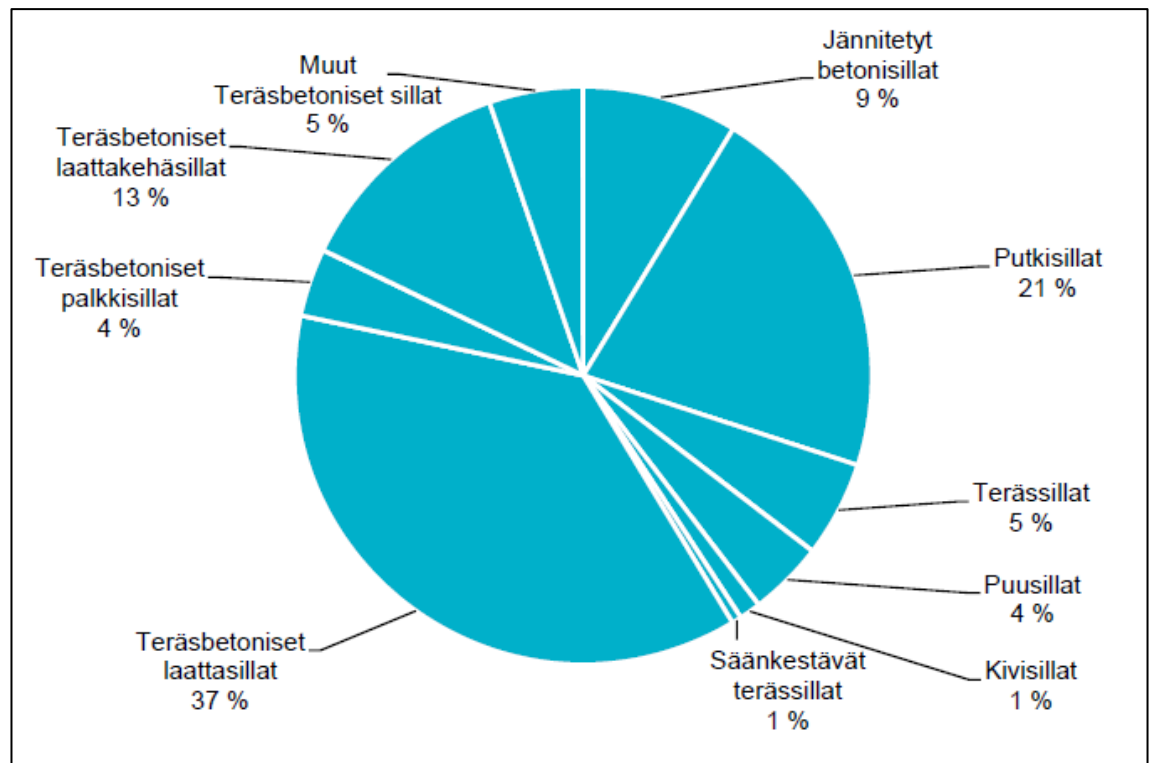
2.4 Tiesiltojen määrät

Suomessa on syyskuussa 2015 julkaistun tilaston Liikenneviraston sillat 1.1.2015 [15] mukaan tiesiltoja yhteensä 15122 kappaletta. Sillat on suunniteltu ja rakennettu eri aikakausina, jolloin suunnittelukuormana on ollut aikakauden normaalista liikenteestä aiheutuvia kuormia vastaava suunnittelukuorma sekä mahdollisesti erikoiskuljetuksia huomioonottava kuorma. Taulukossa 2 on esitetty siltatyypiryhmittäin, kuinka monta olemassa olevaa tiesiltaa kullakin suunnittelukuormalla on toteutettu. Taulukosta nähdään, että suunnittelukuormalla LkI,Ek1 on suunniteltu 7377 siltaa. Määrä vastaa lähes puolta kaikista nykyisin käytössä olevista silloista. [15]

Taulukko 2. Tiesiltojen suunnittelukuormat siltatyypiryhmittäin [15]

Siltatyypiryhmä	Luokittelu	Kik	9 tauto	12 tauto	Maa 75	All	Suunnittelukuorma										Muu	Silloja yhteensä
							AI	AkI,Ek2	LkI,Ek2	AI+teili	AkI,Ek1	LkI,Ek1	LM1	LM1 (Y)	LM1,LM3 VR 1974			
JB kaaret					1		1											2
JB kotolopalkit		3				1	4			13	21	43						85
JB laatat ja laattakehät	1	6				1	1	2	2	7	1	41	1		1		3	67
JB palkit ja palkkikehät	6	132		1	1	1	5	1	18	33	13	885	15		19		32	1 162
Kiviset holvit	111	1	21	10	3	2	12		1	3	5	7					5	181
Kiviset palkit	2																	2
Muut TB sillat	43	1	12	23	1	26	304	5	7	35	31	305		5	1		4	803
Muut terässillat	12	28	7	1	5	7	7	2	10	16	8	244			8		23	378
Puiset liimapalkit	4	58	1					39	242		3	42	2	2			16	410
Puiset palkit	16	6	2	27	1	4	47	91	1	3	6						10	214
Puiset rstikot ja ansaat	4	5		1								1						11
TB kotolopalkit	1	6				2	52	1		44	20	7						133
TB laatat ja laattakehät	166	46	252	64	5	55	1575	63	253	738	607	3529	8	1	70	1	64	7 497
TB palkit ja palkkikehät	18	46	24	6		23	98	6	9	36	13	131			2		29	441
Teräksiset kotolopalkit							1				2	3					1	7
Teräksiset putket	207	38				1	356	3	66	81	231	1897	13		58		13	2 964
Teräspalkit	49	56	30	12	78	25	55	50	63	24	16	242	3		1		54	768
Ei tietoa	4								1						1		1	7
Yhteensä, kpl	644	432	349	145	96	148	2518	263	673	1033	977	7377	42	8	161	1	255	15 122

Siltatyyppi ja sillan rakennusmateriaali vaikuttavat oleellisesti kuormien poikkisuuntaiseen jakautumiseen rakenteessa. Kuvassa 7 esitetystä siltatyyppijakaumasta havaitaan, että teräsbetoniset laatta- ja laattakehäsilat sekä putkisillat muodostavat yhdessä ryhmän, joka kattaa 71 % kaikista tiesilloista. Näille siltatyypeille sekä palkkisilloille, joissa on useita pääkannattajia, on ominaista rasisusten tehokas jakaantuminen rakenteessa.



Kuva 7. Siltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin 1.1.2015 [15]

Siltatyypijakauma tulee ottaa huomioon pystysuorista kuormista aiheutuvien rasitusten poikkisuuntaisessa jakautumisessa, kun kuormia ja rasituksia käsitellään kaikki tiesillat kattavana kokonaisuutena.

3. LASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

3.1 Yleistä

Staattisissa laskelmissa sekä liikenteen simulaatioissa on käytetty yhteneviä ajoneuvoja ja rakennemalleja, myös tarkasteltavat voimasuureet ja rasisusten poikittainen jakautuminen ovat yhteneviä. Tämä mahdollistaa staattisten ja simuloitujen tulosten vertailun myöhemmässä vaiheessa.

3.2 Ajoneuvot

Tutkimuksessa ajoneuvoliikenteestä syntyvät rasisukset aiheutuvat vain raskaista ajoneuvoista. Ajoneuvoasetuksen mukaisia raskaita ajoneuvoja ovat kuorma-autot ilman perävaunua, puoliperävaunulla ja varsinaisella perävaunulla sekä linja-autot. Erikoiskuljetusajoneuvoista tutkimuksessa ovat mukana ajoneuvonosturit, HCT-ajoneuvot, lavetiajoneuvot, betonipumppuautot, dumpperit sekä murskainten, asfalttijyrsinten ja metsäkoneiden kuljetusajoneuvot.

Laskelmissa käsiteltäviä ajoneuvoja on yhteensä 45, joista 20 on ajoneuvoasetuksen mukaisia raskaita ajoneuvoja ja 25 erikoiskuljetusajoneuvoja. Ajoneuvot on jaoteltu yhdeksään ajoneuvotyyppiin, joissa kussakin on viisi alatyyppeä. Samoja ajoneuvoja käytetään simuloinneissa ja staattisissa laskelmissa.

Ajoneuvoille on määritetty kokonaispainon jakaumat, jotka noudattavat lognormaalijakaumaa, kokonaispainojen suhteellinen jakautuminen akseleille sekä akseli-geometria. Kuormattaville ajoneuvoille edellä mainitut määritykset on tehty tapauksissa, joissa ajoneuvo on täysi tai tyhjä. Lisäksi kokonaispainon suhteellisen jakautumisen ja akseligeometrian muutokset on otettu huomioon ajoneuvoissa, joissa riittävän pienellä kuormausasteella osa akseleista voidaan nostaa ylös. Liitteessä A on esitetty ajoneuvojen akseligeometria sekä ajoneuvojen kokonaismassan suhteellinen jakautuminen akseleille. Staattisten laskelmien kannalta oleellimmat ajoneuvokohtaiset tiedot on esitetty taulukoissa 3 ja 4, liikenteen simulaatioiden osalta taulukoissa 8 ja 9.

Ajoneuvoasetuksen mukaisista ajoneuvoista lähtötiedot on kerätty vuosina 1998 – 1999 ja 2013 – 2014 suoritetuista akselimassatutkimuksista [16] [17]. Akselimassatutkimusten tavoitteena on saattaa ajan tasalle tiedot raskaan ajoneuvoliikenteen keskimääräisistä akseli- teli- ja kokonaismassoista sekä niiden jakaumista. Vuosina 1998 – 1999 suoritettussa akselimassatutkimuksessa tiedot kerättiin 3587 ajoneuvosta 48 mittauspäikällä, jotka sijaitsivat suhteellisen tasaisesti eri puolilla päätieverkolla [16]. Vuosina 2013 –

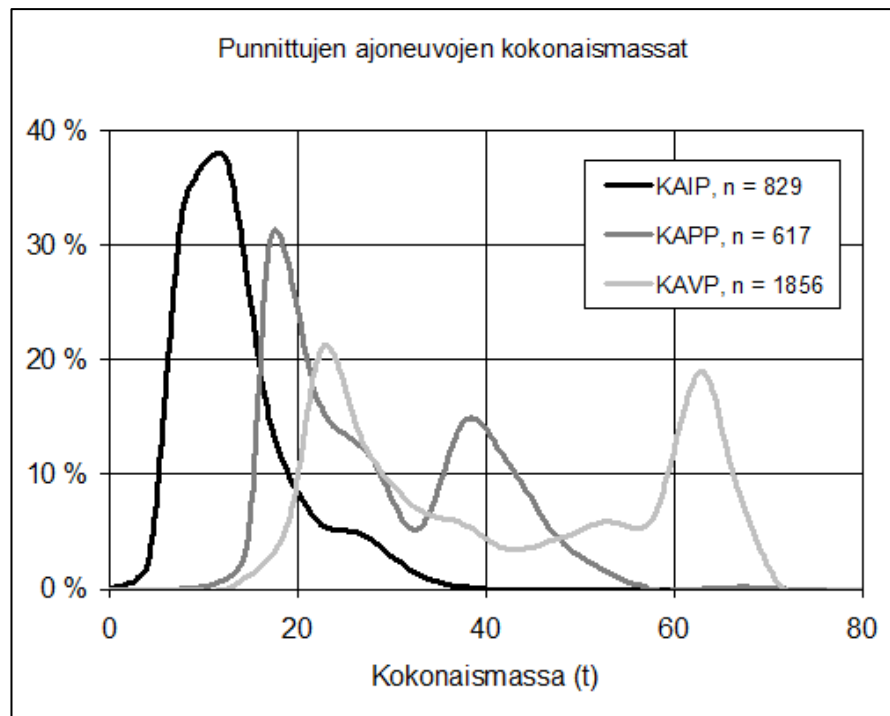
2014 suoritetussa akselimassatutkimuksessa havainnot tehtiin 2372 ajoneuvosta 16 mitauspisteellä, jotka sijaitsivat pääasiallisesti valtatieverkolla 5 eri alueella ympäri Suomea [17]. Erikoiskuljetusten osalta tutkimuksessa käytettävistä erikoiskuljetusajoneuvoista ja niiden ominaisuuksista on sovittu yhteistyössä Liikenneviraston taitorakenneyksikön kanssa.

Ajoneuvojen vuosittaisia liikennemääriä käsitellään liikenteen simuloinnin lähtötietojen yhteydessä. Ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen ja erikoiskuljetusajoneuvojen vuosittaiset liikennemäärät ja ajoneuvojakauumat on esitetty kappaleissa 5.3 ja 5.4.

3.2.1 Ajoneuvoasetuksen mukaiset ajoneuvot

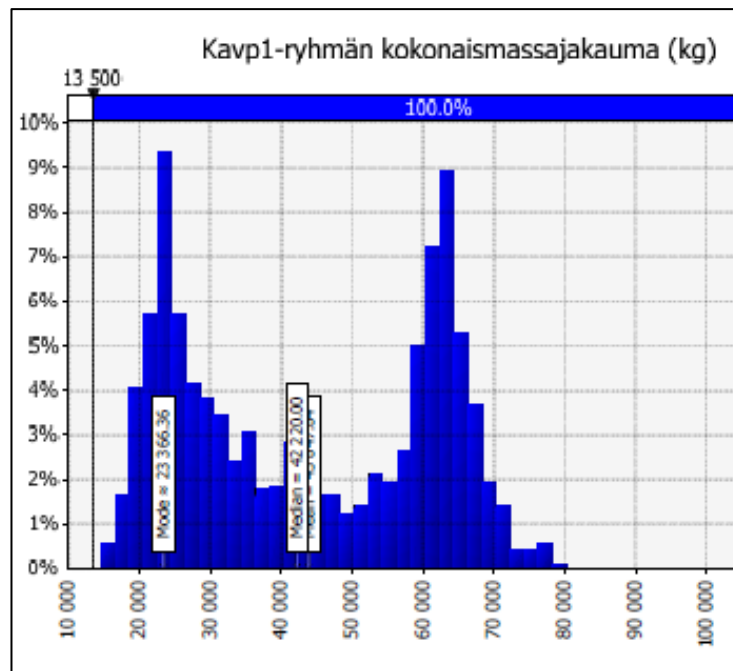
Ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen kokonaismassojen määrittämisessä on oletettu, että ajoneuvojen kokonaismassat vähitellen saavuttavat uuden ajoneuvoasetuksen sallimat tasot. Kokonaismassojen oletetaan tulevaisuudessa kasvavan vastaamaan Suomessa 1998 - 1999 suoritetun akselimassatutkimuksen [16] tuloksia siten, että lastattujen kuorma-autojen kokonaismassat asettuvat sallittujen massarajojen tuntumaan tai jopa niiden yli. Vuosina 2013 – 2014 suoritetun akselimassatutkimuksen tuloksissa uusien massarajojen vaikutus alkaa jo näkyä.

Tarkastellaan varsinaisella perävaunulla varustettuja kuorma-autoja (KAVP), joiden suurin sallittu kokonaismassa oli vuosien 1998 - 1999 akselimassatutkimuksen aikana 60 tonnia. Kuvasta 8 voidaan havaita, että kuorma-autojen kokonaismassajakaumissa on tyypillisesti kaksi huippua, joista toinen edustaa tyhjiä ja toinen raskaasti lastattuja ajoneuvoja. Lastattujen täysperävaunullisten kuorma-autojen keskimääräinen kokonaispaino oli kyseisessä tutkimuksessa noin 63 tonnia. Tilanne on kehittynyt kuvan 8 mukaiseksi vajaassa 10 vuodessa vuodesta 1990, jolloin varsinaisella perävaunulla varustettujen kuorma-autojen suurinta sallittua kokonaismassaa edellisen kerran nostettiin. Vuosien 1998 - 1999 akselimassatutkimuksessa kaikista kuorma-autoista suurimmat ajoneuvotyyppille sallitut kokonaismassat ylitti 20 % ajoneuvoista ja keskimääräinen sallitun kokonaismassan ylitys oli 7 % [16].



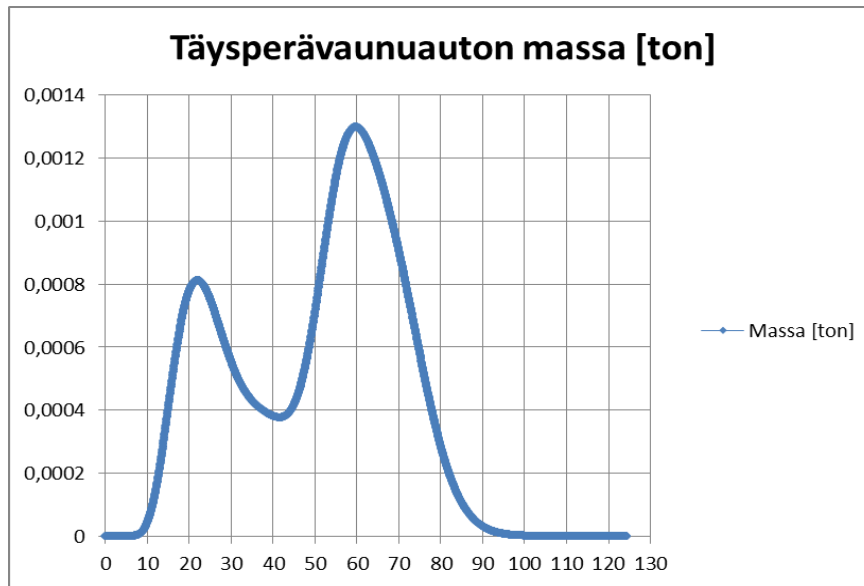
Kuva 8. Kuorma-autojen kokonaismassojen jakaumat vuosien 1998-1999 akselimassatutkimuksesta [16]

Viimeisimmän akselimassatutkimuksen mittaukset suoritettiin vuosina 2013 – 2014 [17]. Mittausten alkaessa uusi ajoneuvoasetus oli ollut voimassa vasta muutaman kuukauden. Tästä huolimatta kuvassa 9 esitetystä kokonaismassajakaumasta voidaan havaita, että kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmille on mitattu 70 – 80 tonnin kokonaismassoja, joita ei juuri vuoden 1998 - 1999 akselimassatutkimuksessa esiintynyt. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että uuden ajoneuvoasetuksen mukaiset korkeammat kokonaismassarajat vaativat myös uudenlaista kalustoa, joka ei uusiudu hetkessä. Lisäksi siirtymäajan suuremmat sallitut akseli- ja kokonaismassat vähentävät kaluston uusimistarvetta. Kuvan 9 mukaan lastattujen perävaunullisten kuorma-autojen tyypilliset kokonaismassat näyttävät edelleen olevan hieman yli 60 tonnissa. Mitään yhtäkkistä kokonaismassojen kasvua ei akselimassatutkimusten perusteella ole tapahtunut.



Kuva 9. Kuorma-auton ja perävaunun yhdistelmän kokonaismassajakauma vuosien 2013-2014 akselimassatutkimuksesta [17]

Tässä tutkimuksessa ajoneuvoasetuksen mukaisille ajoneuvotyypeille on koostettu kokonaismassajakaumat ottamalla huomioon muuttuneet kokonaismassarajat ja ajoneuvojen aikaisempien kokonaismassajakaumien muodostuminen vallitseville kokonaismassarajoille. Tutkimuksen laskelmissa käytettyjen varsinaisella perävaunulla varustettujen kuorma-autojen viiden alatyypin yhdistetty kokonaismassajakauma on esitetty kuvassa 10. Kokonaismassajakauma saadaan muodostettua ottamalla huomioon alatyypien suhteelliset osuudet sekä kunkin alatyypin kokonaismassan keskiarvo ja keskihajonta kuormattuina ja tyhjinä.



Kuva 10. Tutkimuksen laskelmissa käytettyjen kuorma-auton ja perävaunun yhdistelmien kokonaismassajakauma

Ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen yksittäisten alatyypin muodostamisessa ei ole otettu huomioon ainoastaan ajoneuvotyyppin kokonaismassajakaumaa, vaan huomioon on otettu myös yksittäisten ajoneuvojen mahdollisimman hyvä vastaavuus todellisiin ajoneuvoihin. Jokaista erilaista tiellä liikuvaa raskasta ajoneuvoa ei ole pyritty jäljittelemään, vaan yksittäisiin alatyyppeihin on valittu tyypillisimmät ajoneuvot, niille ominaisilla akseligeometrioilla ja massajakaumilla.

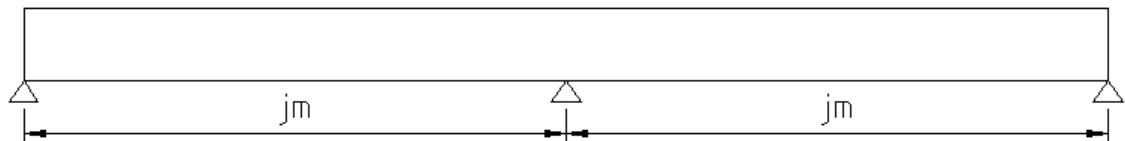
3.2.2 Erikoiskuljetusajoneuvot

Tässä tutkimuksessa tarkasteltavat erikoiskuljetusajoneuvot käsittävät sellaiset erikoiskuljetusajoneuvot, jotka voivat liikennöidä reitti- ja reitistökohtaisilla erikoiskuljetusluvilla. Erikoiskuljetusajoneuvoille ei ole tehty vastaavanlaisia akselimassatutkimuksia kuin ajoneuvoasetuksen mukaisille ajoneuvoille. Erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassan keskiarvo, -hajonta, painon suhteellinen jakautuminen akseleille ja akseliston rakenne on määritetty eri lähteistä saatujen tietojen perusteella. Tietoja erikoiskuljetusajoneuvoista on saatu ajoneuvovalmistajien ilmoittamista tiedoista, ajoneuvoilla liikennöivien toimijoiden reitti- ja reitistölupahakemuksista ja Pirkanmaan ELY-keskuksessa sekä Liikennevirastossa tehdyistä haastatteluista. Käytetyistä erikoiskuljetusajoneuvoista on sovittu Liikenneviraston taitorakenneyksikön kanssa. Tutkimuksessa erikoiskuljetusajoneuvoille käytetyt vuosittaiset liikennemäärät on esitetty taulukossa 11. Erikoiskuljetusajoneuvojen akselikaaviot on esitetty liitteessä A.

HCT- ja lavettiajoneuvojen ryhmät sekä ajoneuvonosturit sisältävät vain saman ajoneuvotyyppin ajoneuvoja. Metsäkoneen kuljetusajoneuvot, betonipumppuautot ja dumppperit on käsitelty samaan ryhmään kuuluvina. Samoin on menetelty murskainten ja asfalttijyrsinten kuljetusajoneuvojen kohdalla.

3.3 Laskentamenetelmät

Tarkasteltavat rakenteet olivat staattisissa laskelmissa sekä liikenteen simulaatioissa kuvan 11 mukaisesti nivelellisesti tuettuja kaksiaukkoisia symmetrisiä palkkeja. Rakennemallien valintaan vaikuttivat niiden laskennallinen yksinkertaisuus ja niiden avulla tutkittavien rasitussuureiden merkittävyys siltojen kannalta. Rakennemallista voidaan tutkia kenttä- ja tukimomentteja, jotka ovat kuormien varmuustasotarkasteluiden kannalta merkittävimmät rasitussuureet. Palkkimallissa sillan kannelle tulevat pinta- ja nauhakuormat tarkasteltiin viivakuormana ja akselikuormat pistekuormina. Palkkien jännemitat olivat 10, 20, 30, 50 ja 100 metriä.

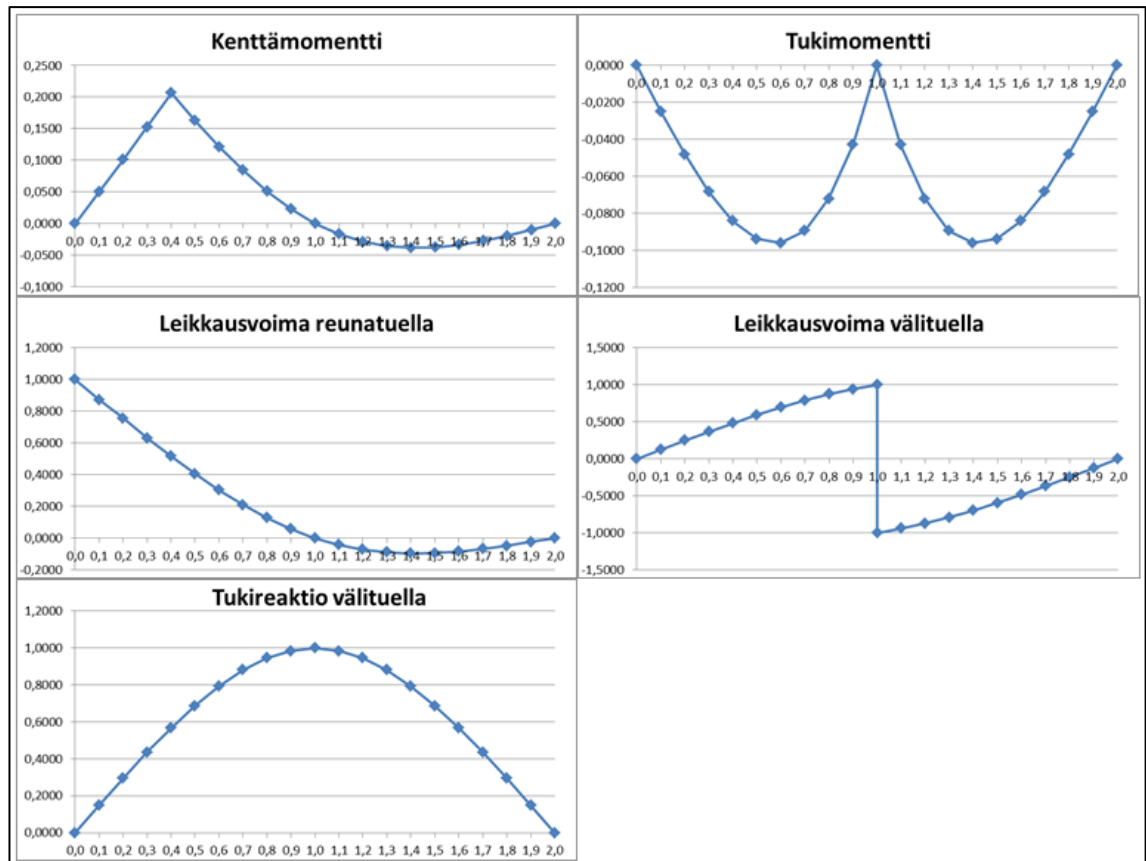


Kuva 11. Laskelmissa käytetyn kaksiaukkoisen palkin rakennemalli

Staattisissa laskelmissa ja simulaatioissa on otettu huomioon ainoastaan ajoneuvojen ja kuormakaavioiden pystysuuntaiset kuormat. Muita ulkoisia kuormia tai rakenteiden omia painoja ei ole otettu huomioon. Rakenteiden omien painojen huomioiminen vaikuttaisi vertailtavien suunnittelukuormien murtorajatilan mitoitusarvoihin, koska omille painoille käytettyjen osavarmuuskertoimien suhteet liikennekuormiin vaihtelevat suunnittelukuormittain. Kuormista aiheutuvia rasituksia tarkasteltiin kahdelta erilliseltä kaistalta siltojen pituussuunnassa. Palkin rasituksista tutkittiin taivutusmomentteja ja leikkausvoimia. Taivutusmomentit tarkasteltiin palkin aukossa sekä keskituella. Leikkausvoimat tarkasteltiin pääty- ja keskituella. Lisäksi tarkasteltiin palkin tukireaktioita keskituella.

Staattisissa laskelmissa kuormitustarkastelut suoritettiin Lusas Modeller 15.0 -ohjelmistolla. Sillan kantta kuvaavien palkkimallien yli kuljetettiin kuormakaaviot. Kuormat tulivat 3,0 metriä leveiltä kuormakaistoilta. Tuloksina saatiin kunkin kuormitustilanteen aiheuttamat suurimmat rasitukset kuormakaistoittain. Jännemitoilla 10, 20 ja 30 metriä palkit jaettiin 1,0 metrin mittaisiin elementteihin, jännemitoilla 50 ja 100 metriä elementtijako oli 2,0 metriä. Elementteinä käytettiin kaksikulotteisia Thick beam -elementtejä. Elementtien poikkileikkaukset sekä materiaaliominaisuudet olivat vakiot koko palkkimallin matkalla.

Liikenteen simulaatioissa ajoneuvojen yksittäisistä akseleista aiheutuvat rasitukset laskettiin influenssiviivojen avulla. Influenssiviivat muodostuvat sillan eri pisteissä yksittäisen pistekuorman vaikutuksista tiettyyn rasitussuureeseen. Influenssiviivat on määritetty erikseen jokaiselle tarkasteltavalle rasitussuureelle. Kuvassa 12 on esitetty tässä tutkimuksessa käytetyt ja yleisesti tunnetut symmetrisen kaksiaukkoisen palkin influenssiviivat.



Kuva 12. Tutkitut influenssiviivat

Influenssiviivat on määritetty tasajaolla 21 sillan pituussuuntaisessa sijainnissa riippumatta sillan pituudesta. Akseleiden osuessa määritettyjen influenssipisteiden väliin, väliarvot interpoloidaan lineaarisesti. Kaikkien sillalla olevien akseleiden kokonaisvaikutus tarkasteltavaan rasitusuureeseen saadaan kertomalla influenssiviivan arvot akselpainoilla ja laskemalla ne yhteen.

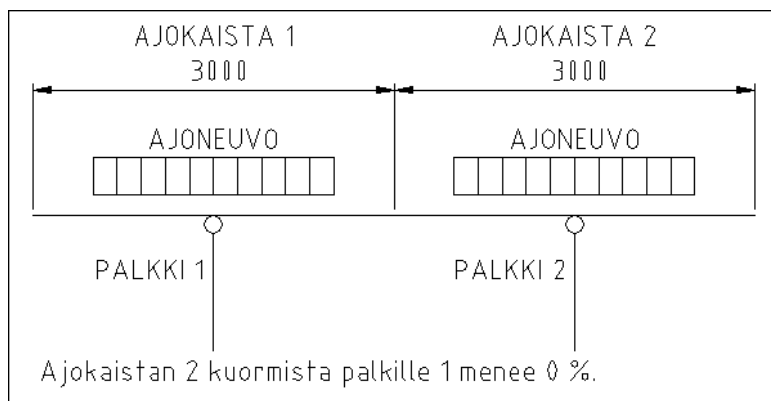
3.4 Kuormien poikkisuuntainen jakautuminen

Kuormien poikkisuuntaista jakautumista pääkannattajalle tutkittiin tarkastelemalla neljä erilaista tilannetta. Yhdelle pääkannattajalle tulevat kuormat otetaan huomioon määräävältä kaistalta kokonaisuudessaan ja tähän lisätään toiselta kaistalta tulevia kuormia 0 %, 33 %, 67 % tai 100 %. Kuormien poikkisuuntainen jakautuminen pääkannattajien kesken riippuu mm. siltatyypistä, rakennusmateriaalista, poikkileikkauksen geometriasta, jännemitasta ja jäykkyydestä. Lisäksi ajoneuvojen poikkisuuntainen sijainti sillan kannella voi vaihdella huomattavasti, riippuen ajokaistojen määrästä ja leveydestä.

Kuvissa 13, 14, 15 on yksinkertaistetuilla esimerkeillä havainnollistettu miten siltatyyppi ja ajokaistojen sijainti vaikuttavat ajoneuvoista aiheutuvien kuormien poikkisuuntaiseen jakautumiseen pääkannattajien kesken. Pääkannattajina toimivien palkkien vääntöjäykkyyden ja päällysrakenteen poikkisuuntaisen taivutusvastuksen on oletettu ole-

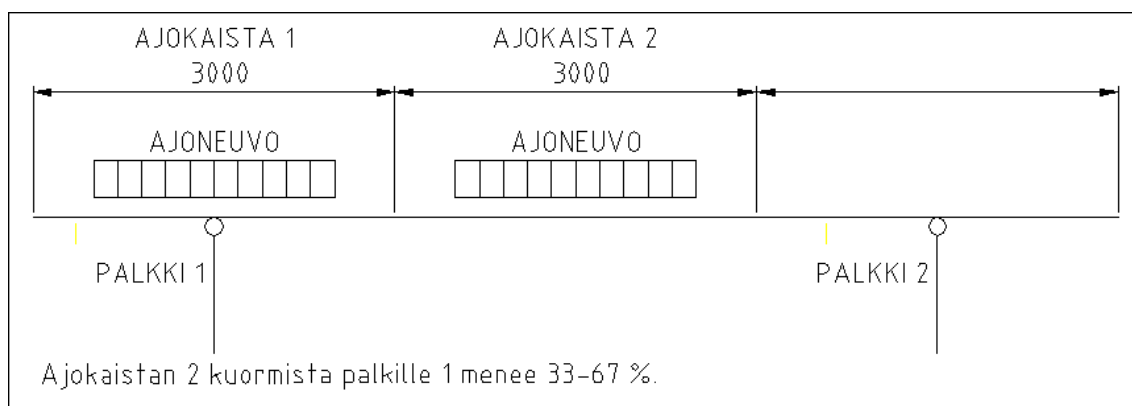
van kuvien 13 ja 14 esimerkeissä 0. Esimerkkikuvissa silloilla on 3,0 metriä leveät ajokaistat, jotka on numeroitu. Kaikissa tilanteissa ajokaistaa 1 pidetään määräävänä ja sen kuormat kuormittavat vain palkkia 1. Ajokaistan 2 kuormista palkille 1 menee poikki-leikkaustyypeittäin vaihteleva osuus.

Kuvan 13 sillalla on kaksi palkkia keskeisesti ajokaistojen alapuolella. Liikenteestä aiheutuvat kuormat menevät ajokaistalta 1 palkille 1 ja ajokaistalta 2 palkille 2. Tämä vastaa poikkisuuntaisen jakautumisen tilannetta, jossa toisen kaistan kuormista otetaan huomioon 0 %.



Kuva 13. Palkkisilta, 2 ajokaistaa, 2 palkkia

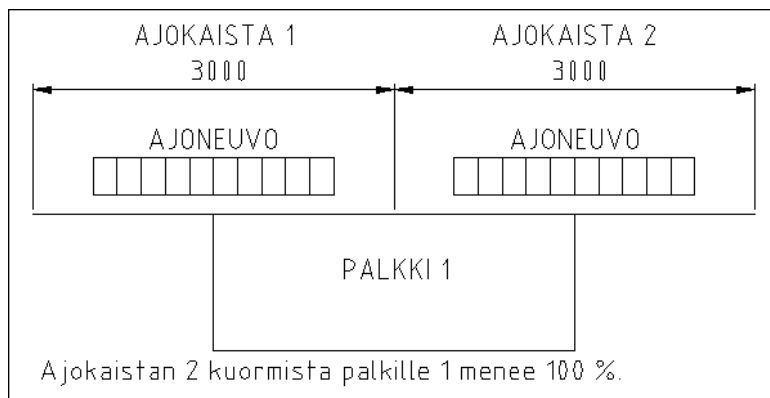
Kuvan 14 sillalla on kolme tai useampia ajokaistoja ja kaksi palkkia. Ajokaistan 1 liikenteestä aiheutuvat kuormat menevät kokonaisuudessaan palkille 1. Ajokaistan 2 liikenteestä aiheutuvat kuormat jakaantuvat palkeille 1 ja 2. Sopivalla sillan leveydellä palkin 1 kannalta syntyy tilanne, jossa kuormat tulee ottaa huomioon määräävältä ajokaistalta kokonaisuudessaan ja toisen ajokaistan kuormista tulee ottaa huomioon 33 % tai 67 %.



Kuva 14. Palkkisilta, 3 ajokaistaa, 2 palkkia

Mikäli sillalla on vain yksi vääntöjäykkä pääkannattaja, molempien kaistojen kuormat siirtyvät tälle. Kuvan 15 kotelopalkkisillalla liikennekaistojen 1 ja 2 kuormat rasittavat

vain yhtä pääkannattajaa, joten tilanteessa liikennekaistan 2 kuormista menee palkille 1 100 %.



Kuva 15. Kotelopalkkisilta, 1 palkki, 2 ajokaistaa.

Jakautuminen, jossa toisen kaistan kuormista otetaan huomioon 0 %, on harvinainen. Vertailtaessa ajoneuvoista aiheutuvia rasituksia suunnittelukuormien kuormakaistoittain laskettuihin rasituksiin tulee ottaa huomioon, että siltojen hyötyleveydet ovat yleensä kuormakaistojen yhteenlaskettua leveyttä suuremmat. Lisäksi betonisilla pääkannattajilla on aina jonkin verran vääntöjäykkyyttä ja kaikkien siltojen kansilaatat jakavat jossain määrin kuormia sivusuunnassa. Tavanomaisissa silloissa kaistakuormat jakaantuvat poikkisuunnassa pääkannattajien kesken. Näin ollen tämän tutkimuksen johtopäätökset on ensisijaisesti syytä tehdä tapauksista, missä kaistan 2 kuormista siirtyy 33 %, 67 % tai 100 % tutkittavalle pääkannattajalle 1. Tämä koskee myös laattasiltoja, missä kuormien jakautuminen sivusuunnassa vaihtelee poikkisuuntaisen tarkastelupisteen mukaan. Tilanne, jossa kuormat tulevat tietyille pääkannattajille vain yhdeltä ajokaistalta (0 %), voi esiintyä kuvan 13 sillan lisäksi esimerkiksi puupalkkisillalla, jossa rakenne ei itsessään jaa kuormia tehokkaasti sillan poikkisuunnassa ja rakennetta kannattelee useita erillisiä pääkannattajia.

4. STAATTISET LASKELMAT

Staattisissa tarkasteluissa tutkimuksen ajoneuvoista aiheutuvat rasitukset tarkasteltiin Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisesti käyttö- ja murtorajatilassa. Ajoneuvo-kohtaisilla staattisilla tarkasteluilla perusteella saadaan selvitettyä yksittäisistä ajoneuvoista tai tietyistä ajoneuvotyypistä aiheutuvat rasitukset. Laskelmien perusteella havaitaan mikä jännemitta ja rasitussuure on kullekin ajoneuvolle määräävin. Ajoneuvoasetuksen mukaisista raskaista ajoneuvoista sekä erikoiskuljetusajoneuvoista silloille aiheutuvien rasitusten lisäksi staattiset tarkastelut suoritettiin luvussa 2.3 esitetyille nykyisille ja vanhoille suunnittelukuormille.

4.1 Ajoneuvot

Staattisissa tarkasteluissa kaikki 45 erilaista ajoneuvoa tarkasteltiin erikseen. Tarkastelut tehtiin kuormatuille eli täysille ajoneuvoille. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen ja erikoiskuljetusajoneuvojen staattisten laskelmien kannalta oleelliset tiedot. Ajoneuvojen akselitiedot on esitetty liitteessä A. Taulukoissa esitetty ominaisarvo (m_{char}) on laskettu kaavalla

$$m_{char} = \mu + 1,65 \times \sigma, \quad (4.1)$$

jossa m_{char} on kokonaismassan ominaisarvo,

μ on täysien ajoneuvojen kokonaismassan keskiarvo ja

σ on täysien ajoneuvojen kokonaismassan keskihajonta tonneina.

Ominaisarvo m_{char} on sovittu laskennallinen arvo, joka vastaa likimain kuorman 95 %:n fraktiilia.

Taulukko 3. Ajoneuvoasetuksen mukaiset ajoneuvot staattisiin tarkasteluihin

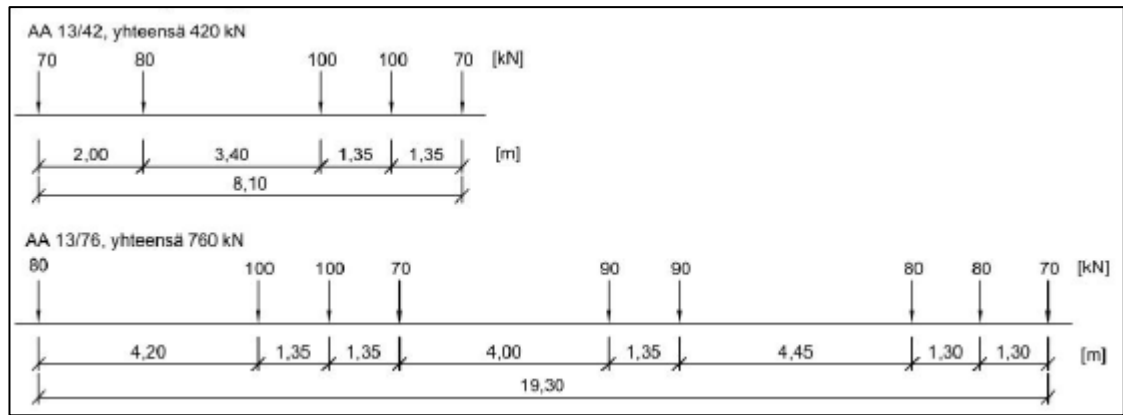
Ajoneuvo tyyppi	Alatyyppit	Täysien keski-arvo μ [tonnia]	Täysien keski-hajonta σ [%]	Ominais-arvo m_{char} [tonnia]	Pituus [m]
Kuorma-auto ilman perävaunua	KAIP1	11,5	30 %	17,2	7,8
	KAIP2	24,0	20 %	31,9	9,8
	KAIP3	33,0	20 %	43,9	10,3
	KAIP4	42,0	18 %	54,5	12,1
	KAIP5	48,0	15 %	59,9	13,4
Linja-auto	LA1	16,0	20 %	21,3	12,0
	LA2	22,0	20 %	29,3	16,8
	LA3	24,0	20 %	31,9	16,7
	LA4	32,0	20 %	42,6	18,1
	LA5	40,0	20 %	53,2	18,4
Kuorma-auto puoliperävaunulla	KAPP1	25,0	25 %	35,3	13,7
	KAPP2	42,0	15 %	52,4	16,1
	KAPP3	48,0	15 %	59,9	17,2
	KAPP4	55,0	15 %	68,6	18,9
	KAPP5	60,0	15 %	74,9	19,2
Kuorma-auto varsinaisella perävaunulla	KAVP1	45,0	20 %	59,9	21,2
	KAVP2	60,0	13 %	72,4	22,4
	KAVP3	72,0	10 %	83,9	23,5
	KAVP4	76,0	10 %	88,5	24,8
	KAVP5	76,0	10 %	88,5	24,8

Taulukko 4. Erikoiskuljetusajoneuvot staattisiin tarkasteluihin

Ajoneuvo tyyppi	Alatyypit	Täysien keski-arvo μ [tonnia]	Täysien keski-hajonta σ [%]	Ominais-arvo m_{char} [tonnia]	Pituus [m]
Ajoneuvonosturi	NA1	24,0	20 %	31,9	10,2
	NA2	36,0	17 %	46,1	13,5
	NA3	48,0	15 %	59,9	13,1
	NA4	60,0	13 %	72,9	13,5
	NA5	72,0	10 %	83,9	17,3
Metsäkoneen kuljetusajoneuvo, Betonipumppuauto, Dumpperi	METS1	28,0	15 %	34,9	11,2
	METS2	37,0	15 %	46,2	11,3
	METS3	40,0	18 %	51,9	11,3
	BPUMP	48,0	15 %	59,9	12,9
	DUMP	25,0	20 %	33,3	9,9
HCT-ajoneuvo	HCT1	90,0	10 %	104,9	29,0
	HCT2	94,0	10 %	109,5	29,9
	HCT3	97,0	10 %	113,0	28,3
	HCT4	100,0	10 %	116,5	30,3
	HCT5	106,0	10 %	123,5	31,5
Murskaimen kuljetusajoneuvo, asfalttijyrsimen kuljetusajoneuvo	MURS1	88,0	15 %	109,8	22,5
	MURS2	108,0	15 %	134,7	22,1
	MURS3	101,0	15 %	126,0	20,9
	ASF2	119,0	10 %	138,6	28,7
	ASF3	135,0	10 %	157,3	29,3
Lavettiajoneuvo	LAV1	100,0	10 %	116,5	25,2
	LAV2	110,0	10 %	128,2	30,0
	LAV3	110,0	10 %	128,2	34,2
	LAV4	120,0	10 %	139,8	40,0
	LAV5	135,0	10 %	157,3	33,4

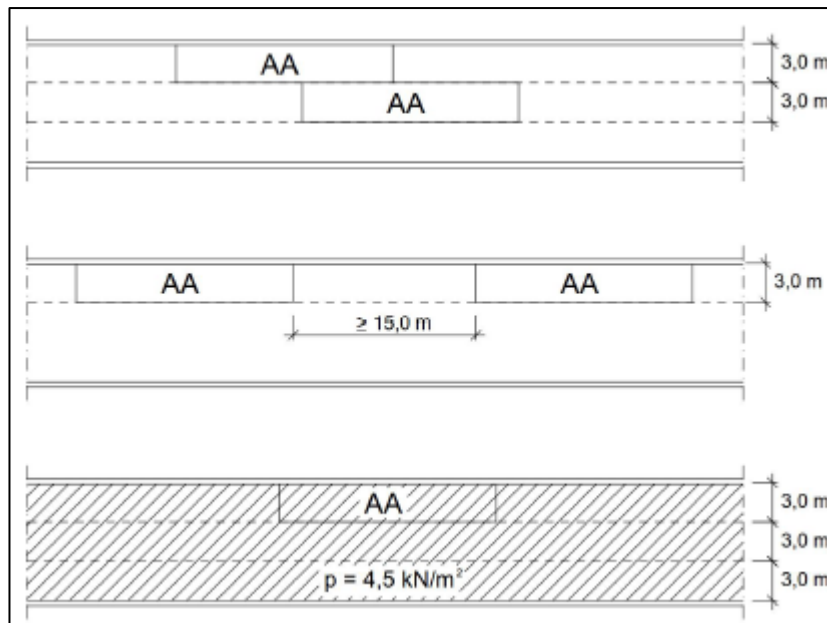
4.2 Siltojen kantavuuslaskentaohjeen kuorma

Siltojen kantavuuslaskentaohjeessa [4] määritellään kaksi erilaista raskasta ajoneuvoa kuvaavaa kuormakaaviota AA 13/42 ja AA 13/76. Kuormakaaviot ovat vuoden 2013 ajoneuvoasetuksen painorajoitusten mukaiset ja niiden on tarkoitus kattaa ilman erillisiä lupia kulkevien ajoneuvojen painorajoittamattomille silloille aiheuttamat rasitukset. Kuvassa 16 esitetyistä kuormakaavioista AA 13/42 ja AA 13/76 valitaan käytettäväksi se, joka antaa määräävimmän vaikutuksen tarkasteltavassa tilanteessa.



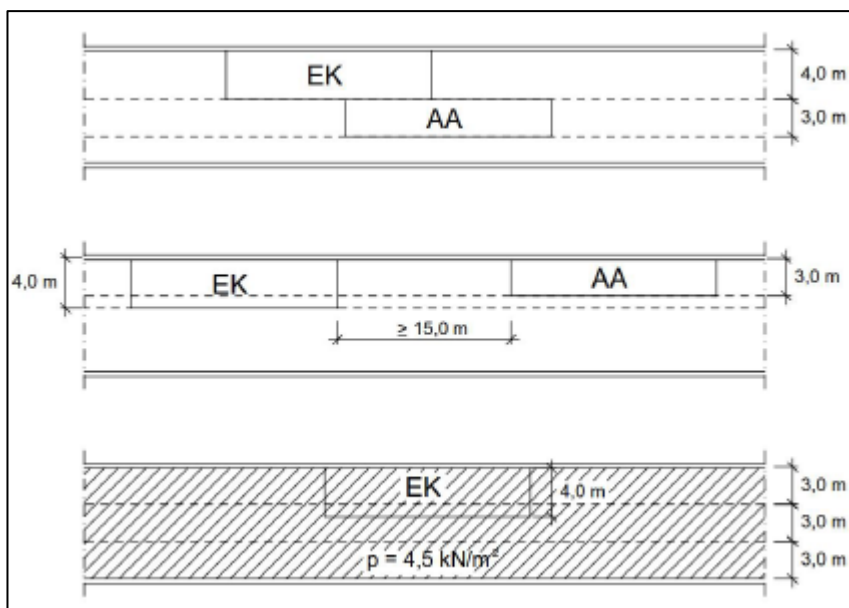
Kuva 16. Ajoneuvoasetuksen 2013 mukaiset kuormakaaviot AA 13/42 ja AA 13/76 [4]

Kuormakaavioiden AA 13/42, AA 13/76 ja pintakuorman aiheuttamat suurimmat rasi-
tukset tutkitaan tilanteissa, jotka on esitetty kuvassa 17. Näissä tarkasteluissa silloilla
oletettiin olevan kaksi 3,0 metrin levyistä kaistaa. Silloille sijoitettiin ajoneuvoasetuksen
mukaisen kuormakaavion kanssa toinen ajoneuvoasetuksen mukainen kuormakaavio tai
pintakuorma, jonka intensiteetti on $4,5 \text{ kN/m}^2$.



Kuva 17. Ajoneuvoasetuksen 2013 mukaisten kuormakaavioiden AA 13/42 ja AA 13/76
sijoittelu sillalla [4]

Erikoiskuljetusten kuormakaavioiden sijoittelussa yksi ajoneuvoasetuksen mukaisista
kuormakaavioista korvataan erikoiskuljetuskaaviolla. Erikoiskuljetuskaavioiden kaistan
leveys on kuvan 18 mukaan 4,0 metriä, kun kuormakaaviot ovat rinnakkain. Tarkaste-
luissa kaistan on oletettu olevan aina 3,0 metriä leveä riippumatta kaavioiden sijoittelus-
ta.



Kuva 18. Erikoiskuljetuskaavioiden sijoittelu sillalla [4]

Tehdyissä staattisissa tarkasteluissa erikoiskuljetuskaavio korvattiin tutkimukseen valittujen ajoneuvojen kuormakaavioilla, joissa käytettiin kaavalla 4.1 laskettuja ominaisarvoja. Siltojen kantavuuslaskentaohjeessa [4] toimintatapa on yleensä käänteinen eli valitaan sopiva akselikaavio erikoiskuljetuskaavioksi ja tarkastetaan millaisilla akselipainojen arvoilla tarkasteltava silta kestää.

Siltojen kantavuuslaskentaohjeessa [4] esitetty dynaaminen kerroin on yksikötön sillan jännemittasta riippuvainen kerroin, joka ilmaistaan muodossa

$$\Phi = 1,40 - 0,006 \times L \geq 1,10, \quad (4.2)$$

jossa Φ on dynaaminen kerroin ja

L on jännemitta metreinä.

Taulukossa 5 esitetyt dynaamiset kertoimet ovat samansuuruiset ajoneuvoasetuksen mukaisille kuormakaavioille ja erikoiskuljetuskaavioille. Pintakuorman intensiteettiin dynaamisella kertoimella ei Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaan ole vaikutusta. Taulukon 5 mukaisesti dynaaminen kerroin pienenee jännemitan kasvaessa ja saavuttaa minimiarvonsa 1,1 jännemitan ollessa 50 metriä.

Taulukko 5. Dynaamiset kertoimet kuormakaavioille eri jännemitoilla [4]

Jännemitta [m]	Dynaaminen kerroin
10	1,34
20	1,28
30	1,22
50	1,1
100	1,1

Taulukkoon 6 on koottu Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaiset kuormakaavioiden sijoitteluja vastaavat murtorajatilan osavarmuusluvut.

Taulukko 6. Vertailussa käytettyjen kuormien osavarmuusluvut [4]

Liikennekuormat, painorajoitustarkastelussa ja sillan kantavuus erikoiskuljetuksille		
Kuormitustapaus	Kuorma	Osavarmuusluku
yksi AA-kaavio	AA	1,45
kaksi AA-kaaviota	2xAA	1,30
AA-kaavio ja pintakuorma	AA	1,30
	pintakuorma	1,60
yksi EK-kaavio	EK	1,30
EK-kaavio ja AA-kaavio	EK	1,20
	AA	1,30
EK-kaavio ja pintakuorma	EK	1,20
	pintakuorma	1,30

Murtorajatilan osavarmuusluvulle ei ole annettu yhtä yksittäistä arvoa, vaan murtorajatilan osavarmuusluvut määräytyvät sillalle sijoiteltavien kuormakaavioiden mukaan.

5. LIIKENTEEN SIMULOINTI

5.1 Yleistä

Simulaatio on todellisuutta jäljittelevä laskennallinen systeemi, jossa simuloitujen tapahtumien tapahtumat ennalta määriteltujen sääntöjen ja ehtojen mukaisesti. Todellisia tapahtumia kuvataan mallilla, joka pyrkii ottamaan huomioon oleellisesti systeemin käyttäytymiseen vaikuttavat seikat. Mallin avulla todellisen systeemin toimintaa voidaan jäljitellä, kun systeemeissä on merkittäviä satunnaistekijöitä tai se on liian laaja ja monimutkainen ratkaistavaksi analyyttisin menetelmin. [18] [19]

Stokastisessa simuloinnissa käytetään satunnaismuuttujia, joille määritetään arvot satunnaislukujen avulla. Teoriassa systeemi toimii näin, mutta kaikkien satunnaislukujen taustalla on algoritmi, jonka mukaan satunnaisluku on muodostettu. Tästä syystä generoituja satunnaislukuja kutsutaan pseudosatunnaisiksi. Generoidut satunnaisluvut eivät saa olla toisistaan riippuvaisia eli generoidulla satunnaisluvulla ei saa olla vaikutusta muihin generoitaviin satunnaislukuihin. Pseudosatunnaisten lukujen satunnaisuus voidaan todeta tarkastelemalla generoitujen satunnaislukujen jakauman tasaisuutta. Stokastisesta simulaatiosta saatava tuloskin on aina itsessään satunnaismuuttuja toisin kuin deterministisessä mallissa, jossa simulaatioissa päädytään aina samaan tulokseen. Stokastisessakin simuloinnissa voidaan saada samoja tuloksia, mutta tällöin on kyse sattumasta. [19] [20]

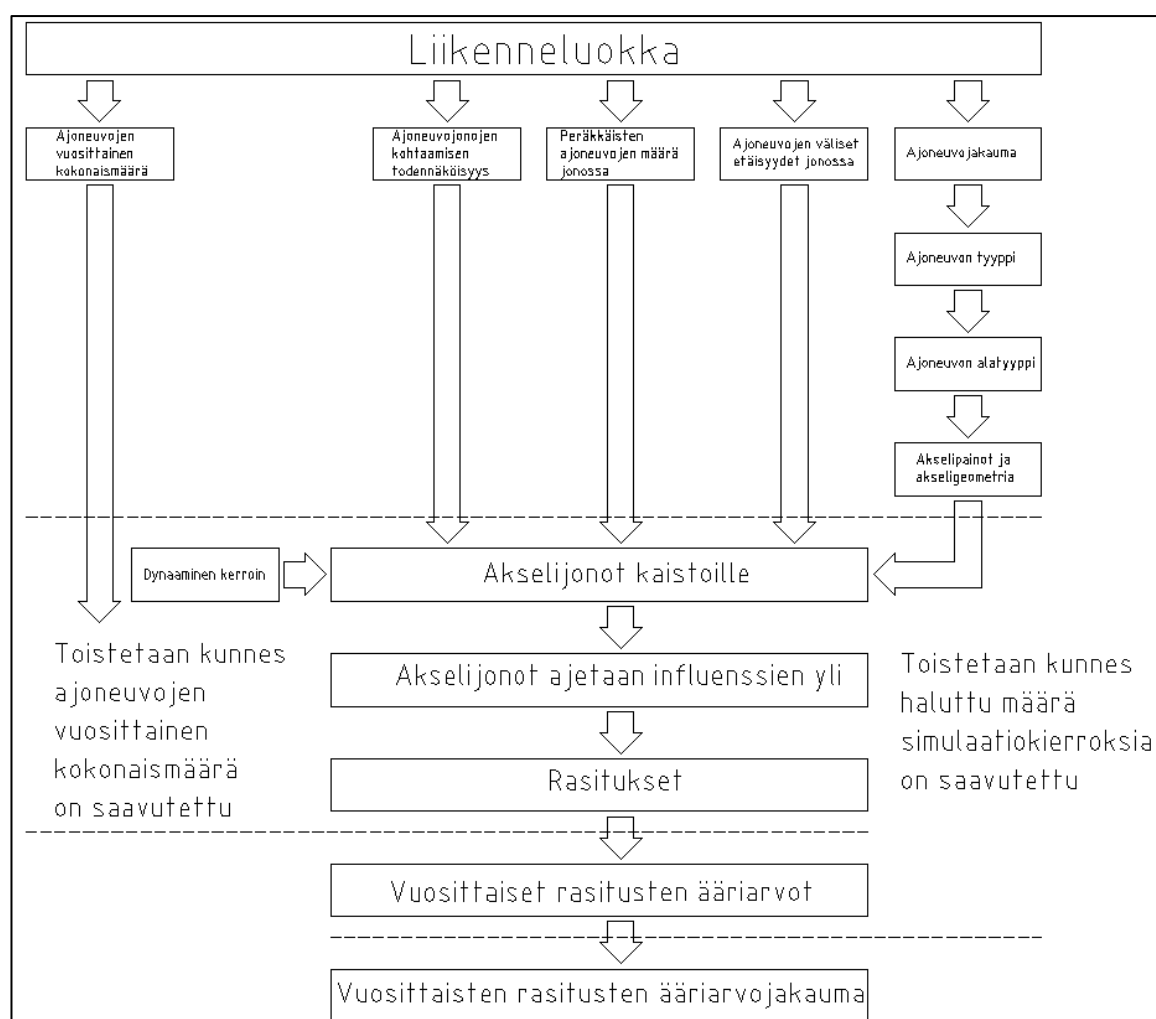
5.2 Simulaation kulku

Simulaatioissa sillalle luodaan liikennetilanteita erilaisten todennäköisyyksien ja tilastollisten mallien perusteella. Liikenne ei virtaa jatkuvana jonona sillan yli, vaan tilanteet luodaan ja tarkastellaan erillisinä toisistaan riippumattomina tapauksina. Liikennettä luodaan kahdelle vastakkaissuuntaiselle kaistalle, joilla ajoneuvot liikkuvat samalla nopeudella. Jonoissa olevien ajoneuvojen muodostamia akselijonoja liikutetaan samanaikaisesti jännemitan kymmenyksen verran kummallakin kaistalla ajoneuvojen kulkuunsa. Jokaisen askeleen kohdalla akselipainot kerrotaan muuttuvalla dynaamisella kertoimella ja rasisukset tarkastellaan tutkittavien influenssiivivojen mukaisesti. Tarkasteluja jatketaan siihen asti kunnes viimeinenkin akseli on poistunut sillalta.

Ajoneuvojonoja muodostetaan kaistoille niin kauan kunnes luvussa 5.3 esitetyn liikenneluokan mukainen vuosittainen kokonaisliikennemäärä on saavutettu. Kun vuosittainen kokonaisliikenne määrä on saavutettu, rasisushistorian ääriarvot tallennetaan. Simulaatiokierroksia toistetaan kunnes haluttu määrä vuosia on saavutettu. Tallennettujen

vuosittaisten ääriarvojen perusteella saadaan määritettyä rasisusten vuosittaisten ääriarvojen jakaumat. Simulaation kulku ja akselijonojen muodostukseen vaikuttavat tekijät on esitetty kuvassa 19.

Erikoiskuljetusajoneuvojen simulaatioissa tilanteissa on mukana ainoastaan yksi, valittu tyyppinen erikoiskuljetusajoneuvo. Muilta osin tilanteet luodaan samoilla tarkasteltavan liikenneluokan mukaisilla ehdoilla. Erikoiskuljetusajoneuvoilla ajoneuvojonojen muodostusta toistetaan kunnes kyseisen erikoiskuljetusajoneuvotyyppin liikenneluokan mukainen taulukossa 11 esitetty vuosittainen määrä on saavutettu. Erikoiskuljetusajoneuvojen kohdalla tuloksiksi saadaan kunkin erikoiskuljetusajoneuvotyyppin ja ajoneuvoasetuksen mukaisen liikenteen yhteisvaikutuksesta aiheutuneiden rasisusten vuosittaiset ääriarvot.



Kuva 19. Simulaation kulku ja akselijonojen muodostaminen

Tämän tutkimuksen liikennesimulaatioissa rasisusten vuosittaiset ääriarvot tallennettiin 30 vuoden simulaatioista. Rasisusten vuosittaisten ääriarvojen jakaumaa käsitellään tarkemmin luvussa 6 simuloitujen tulosten yhteydessä.

5.3 Liikenneluokat

Ajoneuvoasetuksen mukaisten raskaiden ajoneuvojen ajoneuvojakaumat ja liikennemäärät on määritetty tähän työhön liikennesimulaatiotutkimuksen Siltojen suunnittelussa käytetyt kuormat ja osavarmuusluvut [2] perusteella. Kyseisessä tutkimuksessa liikennemäärät ja liikenteen koostumus on määritetty liikenteen automaattisista mittauspisteistä, joissa järjestelmä mittaa ja kerää kaikista ohi ajavista ajoneuvoista tiedot. Tiedot on kerätty yhteensä 17 LAM-pisteen liikenteestä ja ne ovat peräisin vuoden 2012 aikana mitatusta liikenteestä. Tutkituissa LAM-pisteissä on ollut edustettuna taulukon 7 mukaisesti jaoteltuna teitä kaikista neljästä liikenteen luokasta. [2]

Liikennesimulaatioissa raskasta liikennettä on tarkasteltu kahdella erilaisella raskaan liikenteen vuosittaisella kaistakohtaisella liikennemäärällä olettaen, että liikennemäärät ovat samat molempiin suuntiin. Kaksikaistaisille silloille, joilla on vastakkaissuuntainen liikenne, on simuloitu 500 000 (liikenneluokka 1) ja 150 000 (liikenneluokka 2) raskasta ajoneuvoa vuodessa yhteen suuntaan yhdellä kaistalla. Liikenneluokan 1 tiet edustavat suurien kaupunkien läheisyydessä olevia vilkkaasti liikennöityjä teitä sekä suurimpien kaupunkien välisiä yhdysteitä. Liikenneluokan 2 tiet ovat tyypillisiä keskisuurten ja pienten kaupunkien välisiä teitä. Raskaan liikenteen määrittäen ne sijoittuvat taulukon 7 mukaan liikenteen luokan 2 ylä- ja alarajalle.

Taulukko 7. Odotettavissa oleva raskaiden ajoneuvojen lukumäärä vuotta ja hitaan liikenteen kaistaa kohti [13]

Liikenteen luokat (suluissa on esitetty kriteerit liikenteen luokan valinnalle: raskaiden ajoneuvojen määrä/vrk/suunta sillan käyttöiän alussa)		N _{obs} vuotta ja hitaan liikenteen kaistaa kohti (Laskennassa käytetty raskaiden ajoneuvojen määrä/vuosi/suunta)
1	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla suuntaa kohti on vähintään 2 kaistaa, ja joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on suuri (> 1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$2,0 \times 10^6$
2	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on keskimääräinen (200...1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,5 \times 10^6$
3	Päätiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (50...200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,125 \times 10^6$
4	Paikallistiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (< 50 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,05 \times 10^6$

Erikoiskuljetusajoneuvojen osalta ainoastaan HCT-ajoneuvojen liikennemääriä on seurattu. HCT-liikenteen kesäajan raportissa 2015 [21] on tarkasteltu HCT-ajoneuvojen

liikennöintiä 6 kuukauden ajalta (huhtikuu-syyskuu). Tarkastelujakson alussa HCT-ajoneuvoja oli liikenteessä yhteensä 7 kappaletta. Tarkastelujakson aikana HCT-ajoneuvoja tuli liikenteeseen 2 kappaletta lisää, joista toisen liikennöintiä tarkasteltiin 3 kuukauden ajalta ja toisen osalta liikennöintiä tarkasteluvälillä ei huomioitu, koska liikennöinti jäi vähäiseksi myöhäisen aloitusajankohdan myötä. HCT-yhdistelmillä kuljetettiin merikontteja, puutavaraa ja päivittäistavaraa. Tarkastelujaksolla suurimmat sallitut HCT-yhdistelmien massat olivat 60 – 94 tonnia. Kaikki HCT-ajoneuvoilla tehdyt kuljetukset huomioiden tietyillä tieosuuksilla kuljetettiin 3-5 kuormaa päivässä. [21]

Tämän tutkimuksen tarkasteluissa HCT-ajoneuvoille käytettiin liikenneluokissa 1 ja 2 vuosittaisia liikennemääriä 500 ja 2000 HCT-ajoneuvoa. Määrät vastaavat noin 1,4 ja 5,5 kuljetusta päivässä. Muille erikoiskuljetusajoneuvoille käytetyt vuosittaiset liikennemäärät on esitetty liikenneluokittain taulukossa 11.

Liikennesimulaatioissa liikenneluokkien perusteella määräytyvät tavallisen liikenteen ajoneuvojakaumat ja erikoiskuljetusten vuosittaiset määrät. Lisäksi liikenneluokat määrittävät jonojen esiintymistodennäköisyydet, ajoneuvojen määrät jonoissa, ajoneuvojen väliset etäisyydet jonossa ja jonojen kohtaamisen todennäköisyydet.

5.4 Ajoneuvot ja ajoneuvojakaumat

Ajoneuvojen yhdeksän erilaista tyyppiä on simuloinneissa jaoteltu siten, että neljä ajoneuvoasetuksen mukaista ajoneuvotyyppiä edustavat normaalia liikennettä ja erikoiskuljetusajoneuvot käsitellään yksittäisinä ajoneuvotyyppinä mukaisesti jaoteltuina ryhminä. Jokaisella yhdeksällä ajoneuvotyyppillä on viisi alatyyppiä, joiden kokonaismassat, akselien lukumäärät ja pituudet on määritetty erikseen.

Ajoneuvojen kokonaismassojen on oletettu noudattavan log-normaali jakaumaa. Ajoneuvon kokonaismassan lähestyessä nollaa tai ääretöntä todennäköisyys pienenee, mutta periaatteessa kuinka suuret arvot tahansa ovat mahdollisia. Tästä johtuen ajoneuvojen kokonaismassoille on asetettu yläraja m_{max} , joka lasketaan kaavalla

$$m_{max} = \mu + 6 \times \sigma, \quad (5.1)$$

jossa μ on ajoneuvojen kokonaismassan keskiarvo ja σ on ajoneuvojen kokonaismassan keskihajonta tonneina.

Rajoituksen asettelulla on pyritty rajaamaan fyysisesti mahdolliset tapaukset pois, mutta silti huomioon ottamaan tapaukset joissa ajoneuvoon on kuormattu huomattavasti rajoituksia suuremmat kuormat. Näitä ääritapauksia saattaa ilmentyä muutamia kertoja 30 vuoden liikennettä vastaavan simulaation aikana.

Taulukoissa 8 ja 9 on esitetty simulaatioiden kannalta oleelliset tiedot yksittäisistä ajoneuvotyyppien alatyypeistä. Suhteellinen osuus kertoo kyseisen alatyypin osuuden ajo-

neuvotyypin ajoneuvoista. Täysien ja keveiden keskiarvot tarkoittavat kuormattujen ja tyhjien ajoneuvojen kokonaismassojen keskiarvoja. Keveiden osuus ilmoittaa kyseisen alatyypin tyhjien tai kuormaamattomien suhteellisen osuuden alatyypin ajoneuvoista. Akselien lukumäärä on ajoneuvon tai ajoneuvoyhdistelmän akselien kokonaismäärä. Etuakseleiden lukumäärä tarkoittaa ajoneuvoyhdistelmän ensimmäisen osan akseleiden lukumäärää. Jos akseleiden lukumäärä on sama kuin etuakseleiden lukumäärä, niin ajoneuvo koostuu vain yhdestä osasta. Alatyypeille ilmoitettu raja-arvo tarkoittaa kokonaismassarajaa, jonka alittuessa ajoneuvon katsotaan nostavan akseleita ylös, mikäli se on mahdollista. Jos raja-arvoa ei ole ilmoitettu, niin kyseessä on sellainen ajoneuvo, jossa akseleita ei voi nostaa ylös. Pituus on ajoneuvon kokonaispituus mitattuna keulasta perään. Kokonaismassan jakaantuminen akselille ja akselien ajoneuvokohtaiset sijainnit on esitetty liitteessä A.

Taulukko 8. Simulaatioissa käytetyt ajoneuvoasetuksen mukaiset ajoneuvot

Ajoneuvotyyppi	Alatyyppi	Suhteellinen osuus [%]	Täysien keski-arvo μ [tonnia]	Täysien keski-hajonta σ [%]	Keveiden keski-arvo μ [tonnia]	Keveiden keski-hajonta σ [%]	Keveiden osuus [%]	Akselien lukumäärä [kpl]	Etuakselien lukumäärä [kpl]	Raja-arvo [tonnia]	Pituus [m]
Kuorma-auto ilman perävaunua	KAIP1	43 %	11,5	30 %	8,0	35 %	50 %	2	2	-	7,8
	KAIP2	40 %	24,0	20 %	13,0	40 %	20 %	3	3	17,0	9,8
	KAIP3	15 %	33,0	20 %	16,0	30 %	20 %	4	4	20,0	10,3
	KAIP4	1 %	42,0	18 %	20,0	30 %	20 %	5	5	25,0	12,1
	KAIP5	1 %	48,0	15 %	22,0	25 %	20 %	6	6	30,0	13,4
Linja-auto	LA1	66 %	16,0	20 %	13,6	25 %	25 %	2	2	-	12,0
	LA2	30 %	22,0	20 %	20,0	25 %	25 %	3	3	-	16,8
	LA3	2 %	24,0	20 %	21,0	25 %	25 %	3	2	-	16,7
	LA4	1 %	32,0	20 %	22,0	25 %	25 %	4	2	-	18,1
	LA5	1 %	40,0	20 %	23,0	25 %	25 %	5	2	-	18,4
Kuorma-auto puoliperävaunulla	KAPP1	5 %	25,0	25 %	15,0	25 %	50 %	4	2	17,0	13,7
	KAPP2	49 %	42,0	15 %	20,0	30 %	30 %	5	2	20,0	16,1
	KAPP3	44 %	48,0	15 %	20,0	30 %	25 %	6	3	25,0	17,2
	KAPP4	1 %	55,0	15 %	23,0	35 %	25 %	7	4	29,0	18,9
	KAPP5	1 %	60,0	15 %	25,0	35 %	25 %	8	5	32,0	19,2
Kuorma-auto varsinaisella perävaunulla	KAVP1	15 %	45,0	20 %	20,0	30 %	30 %	6	3	22,0	21,2
	KAVP2	60 %	60,0	13 %	25,0	30 %	30 %	7	3	25,0	22,4
	KAVP3	25 %	72,0	10 %	30,0	30 %	30 %	9	4	30,0	23,5
	KAVP4	1 %	76,0	10 %	32,0	30 %	30 %	10	4	30,0	24,8
	KAVP5	1 %	76,0	10 %	32,0	30 %	30 %	10	5	30,0	24,8

Taulukko 9. Simulaatioissa käytetyt erikoiskuljetusajoneuvot

Ajoneuvotyyppi	Alatyyppi	Suhteellinen osuus [%]	Täysien keski-arvo μ [tonnia]	Täysien keski-hajonta σ [%]	Keveiden keski-arvo μ [tonnia]	Keveiden keski-hajonta σ [%]	Keveiden osuus [%]	Akselien lukumäärä [kpl]	Etuakselien lukumäärä [kpl]	Raja-arvo [tonnia]	Pituus [m]
Ajoneuvonosturi	NA1	15 %	24,0	20 %	20,0	25 %	25 %	2	2	-	10,2
	NA2	20 %	36,0	17 %	32,0	25 %	25 %	3	3	-	13,5
	NA3	30 %	48,0	15 %	44,0	25 %	25 %	4	4	-	13,1
	NA4	25 %	60,0	13 %	56,0	25 %	25 %	5	5	-	13,5
	NA5	10 %	72,0	10 %	68,0	25 %	25 %	6	6	-	17,3
Metsäkoneen kuljetusajoneuvo, Betonipumppuauto, Dumpperi	METS1	15 %	28,0	15 %	18,0	20 %	20 %	3	3	22,0	11,2
	METS2	15 %	37,0	15 %	20,0	22 %	20 %	4	4	25,0	11,3
	METS3	15 %	40,0	18 %	22,0	25 %	20 %	5	5	25,0	11,3
	BPUMP	50 %	48,0	15 %	30,0	25 %	30 %	5	5	35,0	12,9
	DUMP	5 %	25,0	20 %	22,0	25 %	40 %	2	2	-	9,9
HCT-ajoneuvo	HCT1	20 %	90,0	10 %	24,0	15 %	30 %	11	6	-	29,0
	HCT2	20 %	94,0	10 %	26,0	15 %	30 %	12	6	-	29,9
	HCT3	20 %	97,0	10 %	28,0	15 %	30 %	12	6	-	28,3
	HCT4	20 %	100,0	10 %	30,0	15 %	30 %	11	3	-	30,3
	HCT5	20 %	106,0	10 %	32,0	15 %	30 %	12	4	-	31,5
Murskaimen kuljetusajoneuvo, asfalttijärsimen kuljetusajoneuvo	MURS1	20 %	88,0	15 %	80,0	20 %	20 %	7	3	-	22,5
	MURS2	20 %	108,0	15 %	100,0	20 %	20 %	8	3	-	22,1
	MURS3	20 %	101,0	15 %	90,0	20 %	20 %	8	3	-	20,9
	ASF2	20 %	119,0	10 %	100,0	20 %	20 %	10	10	-	28,7
	ASF3	20 %	135,0	10 %	110,0	20 %	20 %	11	11	-	29,3
Lavettiajoneuvo	LAV1	30 %	100,0	10 %	48,0	20 %	40 %	9	4	-	25,2
	LAV2	30 %	110,0	10 %	55,0	20 %	40 %	13	7	-	30,0
	LAV3	15 %	110,0	10 %	52,0	20 %	40 %	9	4	-	34,2
	LAV4	15 %	120,0	10 %	60,0	20 %	40 %	13	7	-	40,0
	LAV5	10 %	135,0	10 %	70,0	20 %	40 %	20	4	-	33,4

Ajoneuvoasetuksen mukaisten raskaiden ajoneuvojen ajoneuvotyyppien suhteelliset osuudet raskaiden ajoneuvojen kokonaisliikennemäärästä on esitetty liikenneluokittain taulukossa 10. Yksittäisen ajoneuvoasetuksen mukaisen raskaan ajoneuvon esiintymistodennäköisyys simulaatiossa saadaan taulukossa 10 esitetyn ajoneuvotyyppin suhteellisen osuuden ja taulukossa 8 esitetyn alatyyppin suhteellisen osuuden tulona.

Taulukko 10. Ajoneuvoasetuksen mukaisten raskaiden ajoneuvojen suhteelliset osuudet

Ajoneuvotyyppi	Suhteellinen osuus	
	Luokka 1	Luokka 2
KAIP	25 %	45 %
LA	10 %	5 %
KAPP	15 %	20 %
KAVP	50 %	30 %

Ajoneuvoasetuksen mukaisen liikenteen kanssa sillalle samanaikaisesti simuloitavien erikoiskuljetusajoneuvojen vuosittaiset määrät ajoneuvotyypeittäin on esitetty taulukossa 11. Erikoiskuljetusajoneuvot tarkastellaan ajoneuvotyypeittäin siten, että yhdessä simulaatiossa ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen lisäksi sillalla on yhtä aikaa täsmälleen yksi erikoiskuljetusajoneuvo.

Taulukko 11. Erikoiskuljetusajoneuvojen vuosittaiset liikennemäärät

Ajoneuvotyyppi	Määrät vuodessa	
	Luokka1	Luokka2
AJONEUVONOSTURIT	600	200
METS, BET, DUMP	600	600
HCT-AJONEUVOT	500	2000
MURS, ASF	60	30
LAVETIT	500	2000

Erikoiskuljetusajoneuvojen vuosittaisissa liikennemäärissä on otettu huomioon erikoiskuljetusajoneuvotyyppille tyypillinen liikennöintiympäristö. Esimerkiksi ajoneuvonostureiden, jotka liikennöivät tyypillisesti suurten kaupunkien läheisyydessä, vuosittaiset liikennemäärät ovat liikenneluokassa 1 suuremmat kuin liikenneluokassa 2.

5.5 Ajoneuvojonot ja kohtaaminen

Ajoneuvojonolla tarkoitetaan yhdellä kaistalla samassa simulaatiotilanteessa peräkkäin kulkevia raskaita ajoneuvoja. Ajoneuvojono voi koostua myös yksittäisestä raskaasta ajoneuvosta. Liikenneluokassa 1 yli viiden ajoneuvon jonot on todettu niin harvinaisiksi, että simulaatioissa jonossa olevia ajoneuvoja tarvitsee ottaa huomioon korkeintaan viisi kappaletta. Liikenneluokassa 2 vastaava määrä on neljä. Simulaatioissa jonot arvotaan sillan molemmille kaistoille liikenneluokittain määritellyin ehdoin, jotka on esitetty taulukoissa 12 ja 13. Jonossa kulkevien ajoneuvojen välinen etäisyys jakautuu tasaisesti minimi- ja maksimiarvon välille. Pienin peräkkäisten ajoneuvojen välinen etäisyys on kaikissa tilanteissa kaksi metriä. Ajoneuvojen väliset etäisyydet lasketaan ajoneuvon keulasta ja perästä. Jonon muodostukseen käytetyt ehdot ovat kaistojen välillä identtiset molemmissa liikenneluokissa.

Taulukko 12. Ajoneuvojonojen todennäköisyydet ja ajoneuvojen väliset etäisyydet liikenneluokassa 1

Jonojen muodostuminen liikenneluokassa 1				
Ajoneuvoja jonossa [kpl]	Kaista 1	Kaista 2	Min. etäisyys [m]	Max. Etäisyys [m]
1	48 %	48 %	-	-
2	35 %	35 %	2	264
3	13 %	13 %	2	186
4	3 %	3 %	2	137
5	1 %	1 %	2	104

Liikenneluokassa 2 ajoneuvojonot sisältävät tyypillisesti vähemmän ajoneuvoja, kuin liikenneluokassa 1. Ero selittyy liikenneluokan 2 vähäisemmällä vuosittaisilla liikennemäärillä.

Taulukko 13. Ajoneuvojonojen todennäköisyydet ja ajoneuvojen väliset etäisyydet liikenneluokassa 2

Jonojen muodostuminen liikenneluokassa 2				
Ajoneuvoja jonossa [kpl]	Kaista 1	Kaista 2	Min. etäisyys [m]	Max. Etäisyys [m]
1	83 %	83 %	-	-
2	15 %	15 %	2	250
3	1 %	1 %	2	180
4	1 %	1 %	2	100

Kohtaamistilanteessa vastakkaisten kaistojen ajoneuvojonojen ensimmäisten ajoneuvojen välinen etäisyys on korkeintaan 300 metriä. Kohtaamisen tapahtuessa tilannetta tarkastellaan askeleittain eteenpäin kunnes viimeinenkin akseli on poistunut sillalta. Tällöin kaikki tilanteesta sillalle realisoituvat rasitukset saadaan tarkasteltua. Liikenneluokittain määritetyt ajoneuvojonojen kohtaamistodennäköisyydet on esitetty taulukossa 14.

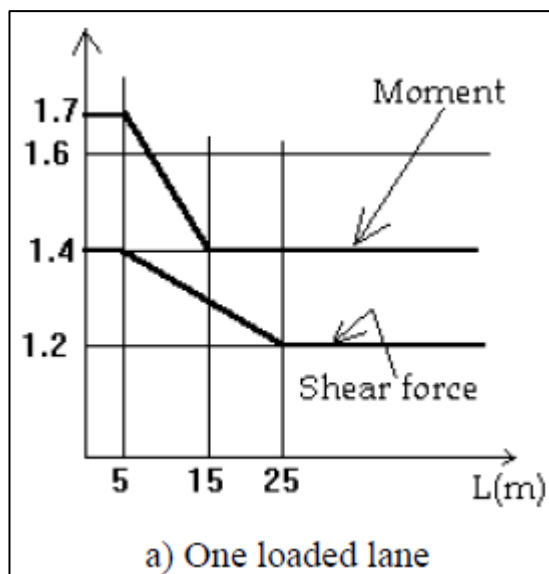
Taulukko 14. Ajoneuvojonojen kohtaamistodennäköisyydet

Jonojen kohtaamistodennäköisyys	
Liikenneluokka 1	70 %
Liikenneluokka 2	15 %

Liikenneluokassa 1 kohtaamisen todennäköisyys on huomattavasti suurempi kuin liikenneluokassa 2. Ero johtuu liikenneluokan 1 suuremmista kaistakohtaisista liikennemääristä, jos ajoneuvoja on enemmän, kohtaamisiakin tapahtuu useammin.

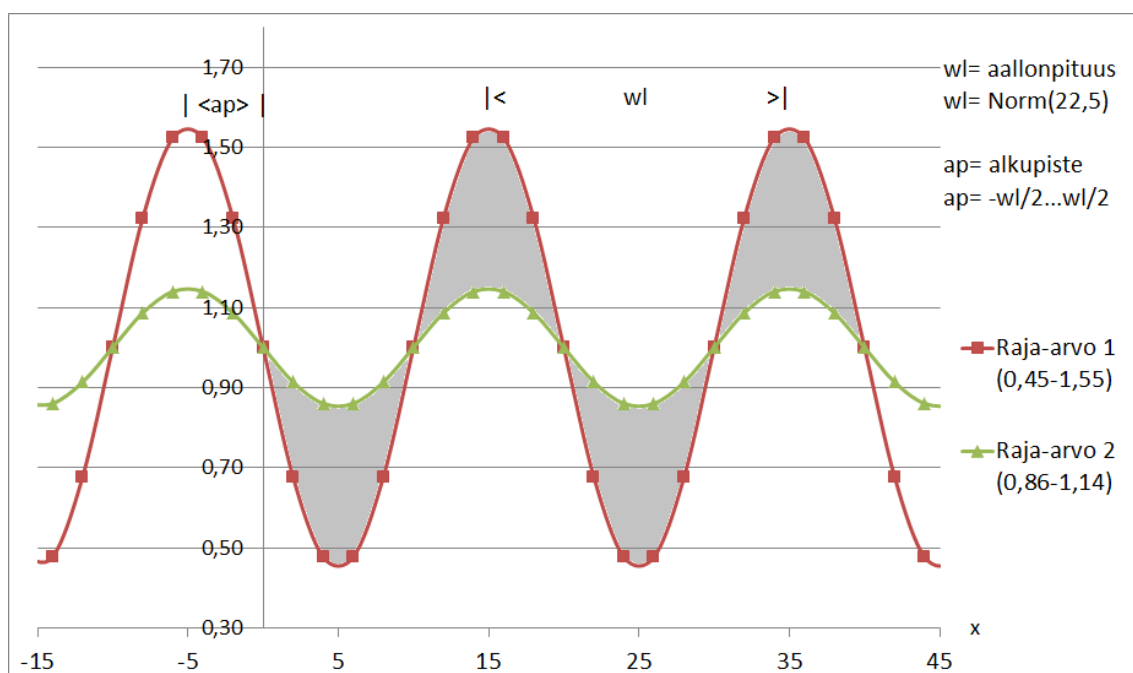
5.6 Dynaaminen kerroin

Dynaaminen kerroin on valittu eurokoodin taustadokumentin ENV 1991-3 [22] perusteella. Simulaatioissa käytetyn dynaamisen kertoimen yläraja on 1,55 momenttirasituksille ja 1,35 leikkausrasituksille sekä tukireaktiolle. Eurokoodin taustadokumentin globaalit dynaamiset kertoimet on esitetty kuvassa 20. Kuvasta havaitaan, että simulaatioissa käytetyt ylärajat vastaavat eurokoodin mukaista globaalia dynaamista kerrointa, kun tarkasteltavan influenssiviivan pituus on 10 metriä.



Kuva 20. Eurokoodin taustadokumentin mukaiset globaalit dynaamiset kertoimet yhdelle kuormitetulle kaistalle [22]

Simulaatioissa dynaaminen kerroin on otettu huomioon harmonisena aaltona, joka kulkee sillan pituussuunnassa ja vaihtelee ajoneuvon edetessä. Kerroin arvotaan jokaiselle ajoneuvolle ja kaksiosaisen ajoneuvon molemmille osille erikseen. Kuvan 21 mukaisesti dynaaminen kerroin momenttirasituksille saa arvonsa kahden aallon välistä. Suurempi-amplitudinen aalto saa arvoja väliltä 0,45 – 1,55 (raja-arvo 1) ja pienempi-amplitudinen aalto väliltä 0,86 – 1,14 (raja-arvo 2). Leikkausrasituksille ja tukireaktioille suurempi-amplitudinen aalto saa arvoja väliltä 0,65 – 1,35, pienempi-amplitudinen aalto on sama kuin momenttirasituksille. Molemmissa tapauksissa molemmat aallot ovat symmetrisiä dynaamisen kertoimen arvon 1 suhteen. Aallonpituus noudattaa normaalijakaumaa, jonka keskiarvo on 22 metriä ja keskihajonta 5 metriä. Kuitenkin niin, että aallon minimipituus on 5 metriä ja aallon vaihe sillan päädyssä vaihtelee tasaisesti.



Kuva 21. Dynaaminen kerroin momenttirasituksille

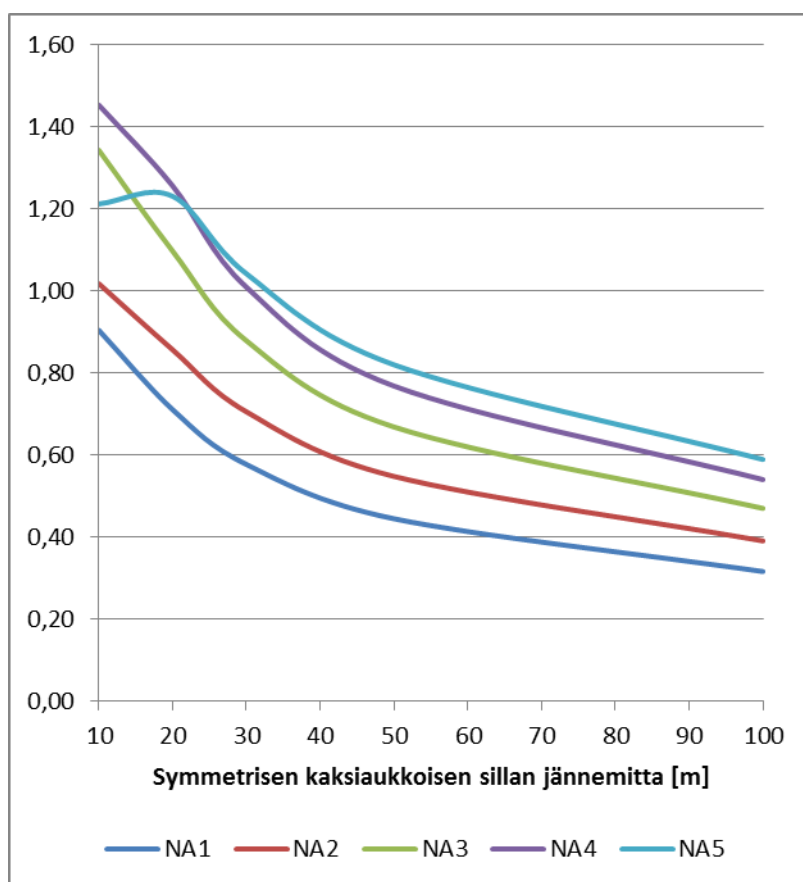
Eurokoodin taustadokumentin [22] mukainen dynaamisen kertoimen pienentyminen jännemitan kasvaessa tulee otettua huomioon, kun kerroin arvotaan ajoneuvoille erikseen ja toisaalta kertoimella voi olla akselikuorman pienentävä vaikutus. Mitä pidemmäksi jännemitta kasvaa, sitä useampia ajoneuvoja sillalle mahtuu ja sitä epätodennäköisemmäksi muuttuu tilanne, että kaikilla ajoneuvoilla olisi samanaikaisesti suuri dynaaminen kerroin. Rastusten vuosittaisia ääriarvoja vastaavat keskimääräiset dynaamiset kertoimet on esitetty simuloitujen tulosten yhteydessä taulukossa 17.

6. TULOKSET

6.1 Staattiset tulokset

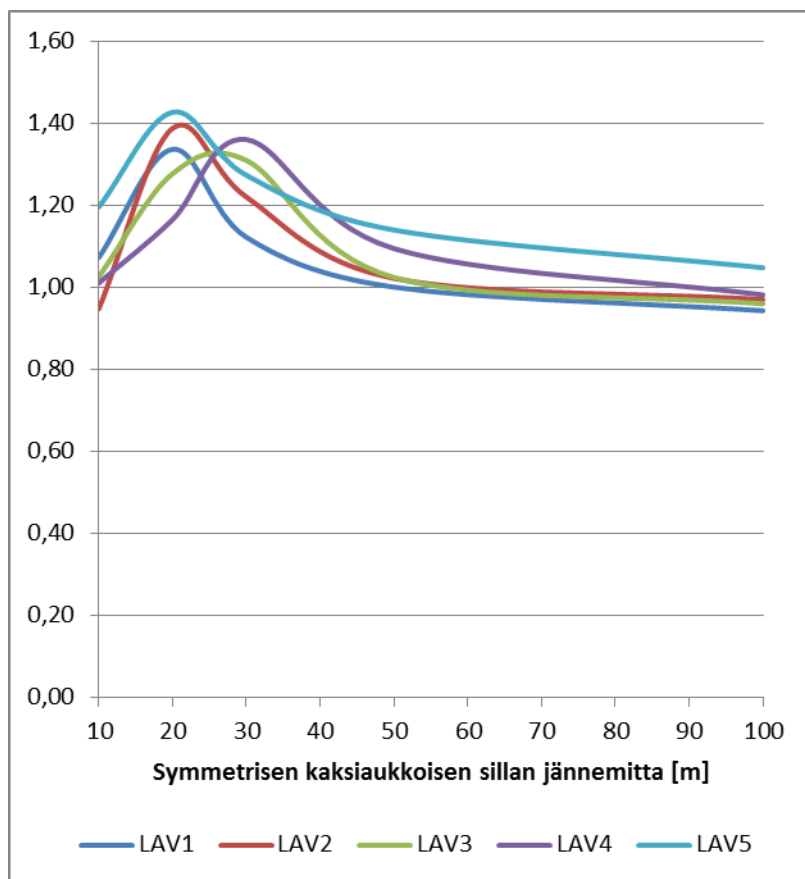
Staattisista laskelmista tuloksiksi saatiin ajoneuvoista sekä Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisesta kuormasta ja suunnittelukuormista aiheutuvat rasitukset. Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisesta kuormasta sekä suunnittelukuormista aiheutuvat rasitukset on esitetty liitteessä B kaikilla tutkituilla poikkisuuntaisilla jakautumisilla käyttö- ja murtorajatilassa. Tutkimuksen erikoiskuljetusajoneuvoista aiheutuvia rasituksia verrataan kuvien 17 ja 18 sijoittelusääntöjen mukaisesti käyttäen erikoiskuljetusajoneuvoille kaavan 4.1 mukaan laskettuja ominaisarvoja. Vertailuista saadaan tutkimuksen erikoiskuljetusajoneuvojen ja Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisen kuorman suhde eri rasitussuureilla ja jännemitoilla. Liitteessä C on esitetty suhteellisen rasituksen kuvaajat erikoiskuljetusajoneuvoille kaikilla tutkituilla voimasuureilla.

Suhteellisten rasituskuvaajien perusteella havaitaan, että suhteelliset rasitukset ovat suurimmillaan lyhyillä jännemitoilla. Suurimmat suhteelliset rasitukset syntyvät aukkomo-menteista jännemitalla 10 metriä ja ne aiheutuvat erikoiskuljetusajoneuvoista, joissa on raskaita telejä tai keskittyneet kuormat. Kuvasta 22 voidaan havaita, että lyhyillä jännemitoilla merkitsevämpää on kuorman keskittyminen kuin ajoneuvon kokonaismassa. Ajoneuvonosturi NA5 on raskaampi kuin ajoneuvonosturit NA3 ja NA4, mutta ajoneuvonostureista NA3 ja NA4 aiheutuvat aukkomentit ovat suurempia lyhyillä jännemitoilla, koska niiden akselistorakenne keskittää kuorman pienemmälle alueelle.



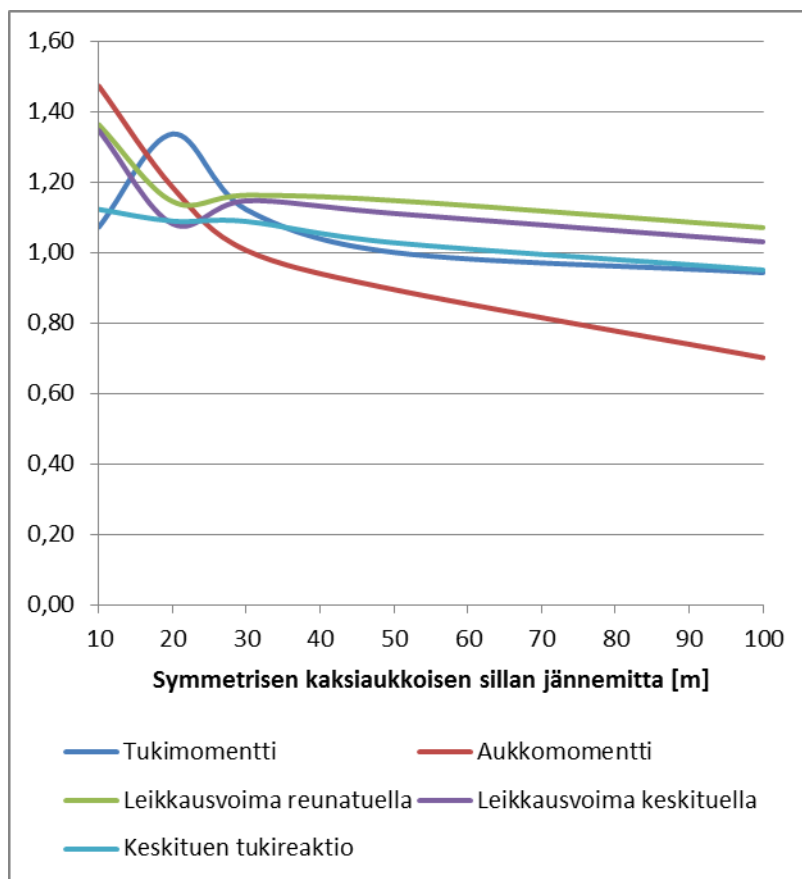
Kuva 22. Ajoneuvonostureista aiheutuvat aukkomentit suhteessa Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisesta kuormasta aiheutuviin aukkomentteihin

Erikoiskuljetusajoneuvoista, joissa suuri kuorma jakaantuu pidemmälle matkalle, aiheutuu suuria suhteellisia rasituksia tukimomenteissa. Kuvassa 23 esitetyistä lavettiajoneuvojen suhteellisista aukkomenteista havaitaan, että suhteelliset rasitukset kasvavat jännemitalle 20 – 30 metriä, kunnes rasitushuippu saavutetaan. HCT-ajoneuvojen Lavettiajoneuvojen sekä murskainten ja asfalttijyrsinten kuljetusajoneuvojen kriittisin jännemitta tukimomenttien kannalta riippuu ajoneuvojen pituudesta.



Kuva 23. Lavettiajoneuvoista aiheutuvat tukimomentit suhteessa Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisesta kuormasta aiheutuviin tukimomentteihin

Kuvaan 24 on koottu lavettiajoneuvosta LAV1 aiheutuvat suhteelliset rasitukset, joista voidaan havaita, että pitkällä jännemitoilla määräävimäksi rasitukseksi muodostui reunanatuen leikkausvoima.



Kuva 24. Lavettiajoneuvon LAV1 suhteelliset rasitukset

Erikoiskuljetusajoneuvoista tulee suurin suhteellinen rasitus aukko- tai tukimomenteille lyhyillä jännemitoilla. Pidemmällä jännemitoilla määräävin rasitussuure oli leikkausvoima reunatuella. Keskituen tukireaktio tai leikkausvoima keskituella eivät aiheuttaneet suurimpia suhteellisia rasituksia millään jännemitalla.

Taulukkoon 15 on koottu kuormien murtorajatilan vertailuluvut, jotka on muodostettu mitoittavan rasitussuureen ja suurimman suhteellisen rasituksen aiheuttavan ajoneuvon alatyypin perusteella. Normaalilla liikenteellä tarkoitetaan kaikkia tämän tutkimuksen ajoneuvoasetuksen mukaisia ajoneuvoja. Taulukossa alimpana oleva AA13 edustaa *Siltojen kantavuuslaskentaohjeen* mukaista kuormaa, toisin sanoen edellä esitettyjen kuvien 22, 23 ja 24 mukaisia ajoneuvotyyppittäin ja jännemitoittain ilmoitettuja suhdelukuja. Suunnittelukuormille LM1/LM3, LkI/Ek1 ja AkI/Ek1 suhdeluvut on saatu vertaamalla Liitteen B staattisia tuloksia rasitussuureittain *Siltojen kantavuuslaskentaohjeen* mukaisen kuorman vastaaviin tuloksiin. Taulukosta 15 on korostettu ne solut, joissa suhteellinen rasitus vertailtavaan kuormaan ylittää arvon 1,1.

Taulukko 15. Ajoneuvoista aiheutuvat suhteelliset rasitukset ominaisarvoilla

Vertailu- kuorma	Staattinen kuorma	MRT 0,33				
		10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,56	0,53	0,60	0,67	0,66
	NA	0,72	0,65	0,60	0,66	0,63
	METS	0,61	0,52	0,50	0,58	0,56
	HCT	0,64	0,65	0,71	0,78	0,74
	MURS	0,91	0,87	0,84	0,89	0,85
	LAV	0,77	0,76	0,83	0,89	0,84
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,65	0,78	0,90	0,91	0,97
	NA	0,82	0,83	0,91	0,90	0,96
	METS	0,65	0,67	0,76	0,79	0,89
	HCT	0,66	0,91	1,07	1,06	1,08
	MURS	0,93	1,20	1,27	1,21	1,18
	LAV	0,81	1,09	1,26	1,21	1,18
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,76	0,92	1,06	1,19	1,29
	NA	0,96	0,97	1,14	1,18	1,23
	METS	0,76	0,79	0,96	1,03	1,10
	HCT	0,78	1,06	1,30	1,38	1,44
	MURS	1,09	1,41	1,61	1,58	1,65
	LAV	0,94	1,27	1,58	1,58	1,63
AA13	Norm.liik.	1,14	0,99	0,93	0,94	0,92
	NA	1,45	1,25	1,08	0,99	0,90
	METS	1,18	1,01	0,87	0,81	0,80
	HCT	1,23	1,24	1,12	1,10	1,04
	MURS	1,85	1,64	1,41	1,33	1,23
	LAV	1,61	1,43	1,36	1,28	1,19

Taulukosta 15 havaitaan, että Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukainen kuorma kattaa kaikista ajoneuvotyypeistä aiheutuvat rasitukset paremmin pitkillä kuin lyhyillä jännemitoilla. Ajoneuvot, joissa on raskaita telejä, aiheuttavat suurimmat rasitukset lyhyillä jännemitoilla.

Suunnittelukuormat Ak1/Ek1 ja Lk1/Ek1 kattavat rasitukset lyhyillä jännemitoilla paremmin kuin pitkillä. Tämä johtuu erikoiskuormakaaviosta Ek1, joka mitoittaa lyhyet jännemitat. Pitkillä jännemitoilla mitoittavan pinta-alakuorman intensiteetti on pieni verrattuna Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisen kuorman pinta-alakuorman intensiteettiin.

Suunnittelukuorma LM1/LM3 toimii tasaisesti kaikilla jännemitoilla. Suhteelliset rasitukset eivät ylitä arvoa 1 edes kaikkein raskaimpien erikoiskuljetusajoneuvojen kohdalla.

6.2 Simuloidut tulokset

Vain ajoneuvoasetuksen mukaista liikennettä sekä ajoneuvoasetuksen mukaista liikennettä ja erikoiskuljetusajoneuvoja sisältävää liikennettä simuloimalla selvitettiin eri rasisuureiden vuosittaiset ääriarvot. Rasisutusten ääriarvot kerättiin kaikissa tapauksissa 30 simuloitukierroksesta (vuodesta). Yksittäisten vuosien ääriarvoista rasisutuksille laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Taulukossa 16 on esitetty ajoneuvoasetuksen mukaisesta liikenteestä aiheutuvien rasisutusten vuosittaisen ääriarvojen perusteella lasketut rasisutusten vuosittaisen ääriarvojen keskiarvot ja keskihajonnat.

Taulukko 16. Ajoneuvoasetuksen mukaisen liikenteen simuloitutulokset jännemitalla 20 metriä.

Ajoneuvoasetuksen mukainen liikenne 30 vuotta								
L=20m	Kenttämomntti [MNm]							
	Liikenneluokka 1				Liikenneluokka2			
	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
jakautuminen	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
keskiarvo μ	-3,782	-3,235	-2,944	-2,888	-3,103	-2,849	-2,813	-2,811
keskihajonta σ	0,148	0,142	0,149	0,147	0,155	0,181	0,173	0,175
	Tukimomntti [MNm]							
	Liikenneluokka 1				Liikenneluokka2			
	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
jakautuminen	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
keskiarvo μ	3,107	2,578	2,248	2,201	2,667	2,275	2,081	2,061
keskihajonta σ	0,165	0,118	0,083	0,104	0,123	0,105	0,080	0,094
	Leikkausvoima reunatuella [MN]							
	Liikenneluokka 1				Liikenneluokka2			
	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
jakautuminen	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
keskiarvo μ	0,838	0,705	0,641	0,639	0,732	0,672	0,669	0,669
keskihajonta σ	0,038	0,037	0,022	0,023	0,045	0,037	0,041	0,041
	Leikkausvoima välituella [MN]							
	Liikenneluokka 1				Liikenneluokka2			
	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
jakautuminen	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
keskiarvo μ	1,025	0,861	0,759	0,754	0,867	0,737	0,705	0,705
keskihajonta σ	0,037	0,031	0,034	0,038	0,026	0,021	0,029	0,029
	Tukireaktio välituella [MN]							
	Liikenneluokka 1				Liikenneluokka2			
	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
jakautuminen	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0
keskiarvo μ	1,555	1,309	1,127	1,060	1,468	1,241	1,013	0,992
keskihajonta σ	0,027	0,040	0,022	0,023	0,049	0,034	0,020	0,030

Taulukossa 16 esitetyistä tuloksista voidaan havaita, että liikenneluokassa 1 rasisutukset ovat suurempia kuin liikenneluokassa 2. Lisäksi toisen kaistan kuormien huomioiminen vaikuttaa rasisutuksiin liikenneluokassa 1 huomattavasti enemmän kuin liikenneluokassa 2. Erot johtuvat liikenneluokan 2 pienemmästä kaistakohtaisesta liikennemäärästä. Kaikkien simuloitujen rasisutusten vuosittaisen ääriarvojen keskiarvot ja hajonnat on esitetty jännemitoittain liitteessä B.

Simulaatioissa dynaamiset kertoimet määritettiin ajoneuvokohtaisesti kappaleessa 5.6 esitettyjen sääntöjen mukaisesti. Taulukossa 17 on esitetty sillalla keskimäärin vaikutta-

van dynaamisen kertoimen keskiarvot ja keskihajonnat tilanteissa, joissa rasisitusten vuosittaiset ääriarvot muodostuvat. Dynaamisen kertoimen tarkastelut suoritettiin ajoneuvoasetuksen mukaiselle liikenteelle liikenneluokassa 1. Rasisitusuuureista tarkasteltiin kenttä- ja tukimomentteja tilanteissa, joissa kuormat otetaan huomioon yhdeltä ($k_2=0$ %) tai kahdelta ($k_2=100$ %) kaistalta.

Taulukko 17. Simulaatioissa sillalla keskimäärin vaikuttavan dynaamisen kertoimen keskiarvot ja hajonnat tilanteissa, joissa rasisitusten vuosittaiset ääriarvot syntyvät

Dynaaminen kerroin kenttämomentti, liikenneluokka 1, $k_2=0\%$					
Jännemitta [m]	10	20	30	50	100
Keskiarvo	1,377	1,339	1,329	1,309	1,171
Keskihajonta	0,063	0,070	0,066	0,058	0,056
Dynaaminen kerroin kenttämomentti, liikenneluokka 1, $k_2=100\%$					
Jännemitta [m]	10	20	30	50	100
Keskiarvo	1,299	1,263	1,255	1,205	1,099
Keskihajonta	0,088	0,061	0,051	0,050	0,069
Dynaaminen kerroin tukimomentti, liikenneluokka 1, $k_2=0\%$					
Jännemitta [m]	10	20	30	50	100
Keskiarvo	1,308	1,273	1,237	1,183	1,139
Keskihajonta	0,064	0,058	0,057	0,071	0,057
Dynaaminen kerroin tukimomentti, liikenneluokka 1, $k_2=100\%$					
Jännemitta [m]	10	20	30	50	100
Keskiarvo	1,243	1,223	1,165	1,120	1,089
Keskihajonta	0,073	0,068	0,063	0,050	0,057

Taulukosta 17 havaitaan, että jännemitan kasvaessa dynaamisen kertoimen keskiarvo pienenee. Pidemmälle sillalle mahtuu useampia ajoneuvoja ja samalla tulee epätodennäköisemmäksi tilanne, jossa kaikilla sillalla olevilla ajoneuvoilla olisi suuri dynaaminen kerroin. Lisäksi jännemitan kasvaessa rasisitusten muodostumiseen vaikuttavien tekijöiden, kuten ajoneuvojen määrän ja niiden välisen etäisyyden vaikutus kasvaa. Dynaaminen kerroin on keskimäärin suurempi yhden kaistan ($k_2=0$ %) kuin kahden kaistan ($k_2=100$ %) rasisituksille. Kahden kaistan tarkasteluissa toisen kaistan ajoneuvojen painojen vaikutus on merkittävä, joten dynaamisen kertoimen vaikutus ei ole aivan niin suuri rasisitusten vuosittaisten ääriarvojen kannalta. Sama ajoneuvojen määrästä johtuva ilmiö havaitaan myös rasisitusuuureiden välillä. Kenttämomentin vuosittaisissa ääriarvotilanteissa dynaaminen kerroin on suurempi kuin tukimomentin. Tukimomentin ääriarvot syntyvät tyypillisesti tilanteissa, joissa ajoneuvot sijaitsevat sillan molemmissa jänteisissä. Kenttämomentin kannalta ajoneuvojen tulee sijaita vain toisella sillan jänteisistä, koska toisella jännteellä sijaitsevilla ajoneuvoilla on kuvan 12 mukaisesti pienentävä vaikutus kenttämomentin arvoon.

6.3 Simuloitujen tulosten herkkyystarkastelut

Herkkyystarkasteluissa tutkittiin, millaisia vaikutuksia simulaatioista saataviin tuloksiin aiheuttavat ajoneuvon kokonaismassan leikkurin muuttaminen ja erikoiskuljetusajoneuvojen vuosittaisten liikennemäärien muuttaminen.

6.3.1 Ajoneuvon kokonaismassan rajoittaminen

Simulaatioissa tutkittiin ajoneuvojen kokonaismassan rajoittamista tekemällä 30 vuoden simulaatioita jännemitoilla 20 ja 100 metriä. Simulaatiot suoritettiin ajoneuvoasetuksen mukaisella liikenteellä liikenneluokan 1 mukaisilla liikennemäärillä ja ajoneuvojakaumilla. Perustilanteessa yksittäisen ajoneuvon paino ei voi ylittää kaavalla 4.3 lasketavaa arvoa, jossa ajoneuvon kokonaismassan keskiarvoon lisätään 6 kertaa kokonaismassan keskihajonta. Herkkyysanalyysissä kokonaismassan rajoitustarkastelut tehtiin tilanteissa, jossa ajoneuvon kokonaismassan ylärajoina käytettiin arvoja, jossa keskiarvoon lisätään 1, 2 tai 4 kertaa kokonaismassan keskihajonta. Lisäksi tarkasteltiin tilanne, jossa ajoneuvon kokonaismassalle ei aseteta ylärajaa. Ajoneuvon kokonaismassan yläraja määritettiin kaavalla

$$m_{max} = \mu + a \times \sigma, \quad (6.1)$$

jossa μ on ajoneuvon kokonaismassan keskiarvo,
 a on kokonaismassan ylärajan määrittävä kerroin ja
 σ on ajoneuvon kokonaismassan keskihajonta tonneina.

Taulukossa 18 on esitetty laskentatuloksina saadut rasitusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvot ja -hajonnat kenttä- ja tukimomenttien osalta jännemitoilla 20 metriä. Keskiarvoista ja keskihajonnoista on esitetty myös suhteelliset muutokset perustilanteeseen. Kuormat on otettu huomioon yhdeltä ($k_2=0$ %) tai kahdelta ($k_2=100$ %) kaistalta. Kokonaismassan rajoitus on esitetty taulukossa 18 rivillä leikkuri.

Taulukko 18. Ajoneuvojen kokonaismassan rajoittamisen vaikutukset jännemitoilla 20 metriä

Ajoneuvoasetuksen mukainen liikenne, L=20, liikenneluokka 1, k ₂ =0 %										
Voimasuure	Kenttämomentti					Tukimomentti				
Leikkuri $\mu+a\sigma$	a=6	a=1	a=2	a=4	a=∞	a=6	a=1	a=2	a=4	a=∞
keskiarvo μ [kNm]	2,89	2,18	2,40	2,80	2,92	2,20	2,04	2,09	2,18	2,19
keskiarvon muutos	-	-24 %	-17 %	-3 %	1 %	-	-7 %	-5 %	-1 %	0 %
keskihajonta σ [kNm]	0,15	0,03	0,04	0,10	0,14	0,10	0,06	0,08	0,07	0,07
keskihajonnan muutos	-	-79 %	-70 %	-35 %	-2 %	-	-39 %	-26 %	-31 %	-34 %
Ajoneuvoasetuksen mukainen liikenne, L=20, liikenneluokka 1, k ₂ =100 %										
Voimasuure	Kenttämomentti					Tukimomentti				
Leikkuri $\mu+a\sigma$	a=6	a=1	a=2	a=4	a=∞	a=6	a=1	a=2	a=4	a=∞
keskiarvo μ [kNm]	3,78	3,44	3,52	3,69	3,71	3,11	3,03	3,08	3,06	3,15
keskiarvon muutos	-	-9 %	-7 %	-3 %	-2 %	-	-2 %	-1 %	-1 %	1 %
keskihajonta σ [kNm]	0,15	0,11	0,10	0,08	0,17	0,17	0,16	0,11	0,08	0,12
keskihajonnan muutos	-	-28 %	-35 %	-46 %	16 %	-	-4 %	-31 %	-53 %	-26 %

Jännemitalla 20 metriä rasitusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvot laskevat, kun leikkurin a-arvo pienenee. Leikkurin a-arvon ollessa 4 vuosittaisten ääriarvojen keskiarvot ovat kevyempien ajoneuvojen johdosta hieman pienempiä kuin leikkurin a-arvolla 6. Leikkurin a-arvon pienentyessä arvoa 4 pienemmäksi myös keskiarvot pienenevät. Vuosittaisten ääriarvojen keskiarvojen kannalta ei ole tämän tarkastelun perusteella suurta vaikutusta käytetäänkö leikkurin a-arvona kerrointa 6 vai jätetäänkö leikkuri kokonaan pois.

Taulukossa 19 on esitetty taulukkoa 18 vastaavat tulokset jännemitalla 100 metriä. Jännemitalla 100 metriä kokonaismassan rajoittamisella ei ole suurta vaikutusta rasitusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvoihin. Tutkittujen rasisuureiden vuosittaisten ääriarvojen keskiarvot pienenevät suhteessa perustapaukseen vain leikkurin a-arvon ollessa 1. Jännemitalla 100 metriä erilaisilla leikkurirajoituksilla lasketut keskiarvot poikkeavat tutkittujen rasisuureiden perustilanteiden keskiarvoista vain 1 – 4 %.

Taulukko 19. Ajoneuvojen kokonaismassan rajoittamisen vaikutukset jännemitalla 100 metriä

Ajoneuvoasetuksen mukainen liikenne, L=100, liikenneluokka 1, k2=0%										
Voimasuure	Kenttämomentti					Tukimomentti				
Leikkuri $\mu+a\sigma$	a=6	a=1	a=2	a=4	a=∞	a=6	a=1	a=2	a=4	a=∞
keskiarvo μ [kNm]	30,54	29,53	30,25	30,89	30,71	25,40	24,98	25,03	26,16	26,24
keskiarvon muutos	-	-3 %	-1 %	1 %	1 %	-	-2 %	-1 %	3 %	3 %
keskihajonta σ [kNm]	1,30	1,02	1,01	1,39	0,91	1,16	1,08	1,15	0,90	1,02
keskihajonnan muutos	-	-21 %	-22 %	7 %	-30 %	-	-7 %	-1 %	-22 %	-12 %
Ajoneuvoasetuksen mukainen liikenne, L=100, liikenneluokka 1, k2=100%										
Voimasuure	Kenttämomentti					Tukimomentti				
Leikkuri $\mu+a\sigma$	a=6	a=1	a=2	a=4	a=∞	a=6	a=1	a=2	a=4	a=∞
keskiarvo μ [kNm]	39,26	37,72	40,12	40,32	40,54	31,52	30,91	32,87	32,21	32,17
keskiarvon muutos	-	-4 %	2 %	3 %	3 %	-	-2 %	4 %	2 %	2 %
keskihajonta σ [kNm]	2,10	2,07	2,43	1,59	2,83	1,18	2,36	1,74	1,80	1,29
keskihajonnan muutos	-	-2 %	15 %	-24 %	35 %	-	100 %	48 %	53 %	10 %

Jännemitan kasvaessa, muiden muuttujien merkitys kasvaa suhteessa ajoneuvon kokonaismassan leikkurirajoitukseen. Ajoneuvojen lukumäärä sillalla, ajoneuvotyypit sekä ajoneuvokohtaiset dynaamiset kertoimet määrittävät suurelta osin sillalle aiheutuvan rasituksen. Ajoneuvopainon leikkurilla ei ole suurta merkitystä, paitsi erityisen pitkillä jännemitoilla missä leikkurin puuttuminen saattaa tarpeettomasti kasvattaa hajontaa ja sitä kautta kuorman ominaisarvoa.

Kokonaismassan leikkurilla ei ole suurta merkitystä, kun sen a-arvo 4 tai suurempi. Leikkurin a-arvo 6 leikkaa pois kaikkein epärealistisimmat ajoneuvot vaikuttamatta kuitenkaan merkittävästi lopputulokseen.

6.3.2 Erikoiskuljetusajoneuvojen liikennemäärät

Erikoiskuljetusajoneuvojen vuosittaisten liikennemäärien vaikutusta rasitukseen tarkasteltiin tekemällä 30 vuoden simulaatioita ajoneuvonostureille erilaisilla vuosittaisilla

liikennemäärillä. Liikenneluokkien mukaiset liikennemäärät ajoneuvonostureille olivat molemmissa liikenneluokissa 600 ajoneuvonosturia vuodessa. Tarkastelut suoritettiin liikenneluokassa 1 jännemitalla 20 metriä käyttämällä vuosittaisena liikennemääränä 150, 300, 600, 1200 ja 2400 ajoneuvonosturia. Taulukossa 20 on esitetty laskentatulokset kenttä- ja tukimomenttien osalta tilanteissa, joissa kuormat otetaan huomioon yhdeltä ($k_2=0$ %) tai kahdelta ($k_2=100$ %) kaistalta. Taulukkoon on koottu rasisitusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvo ja -hajonta sekä niiden suhteellinen muutos liikenneluokan 1 perustilanteeseen, jossa liikennemäärä on 600 ajoneuvonosturia vuodessa.

Taulukko 20. Erikoiskuljetusajoneuvojen vuosittaisten määrien vaikutus jännemitalla 20 metriä

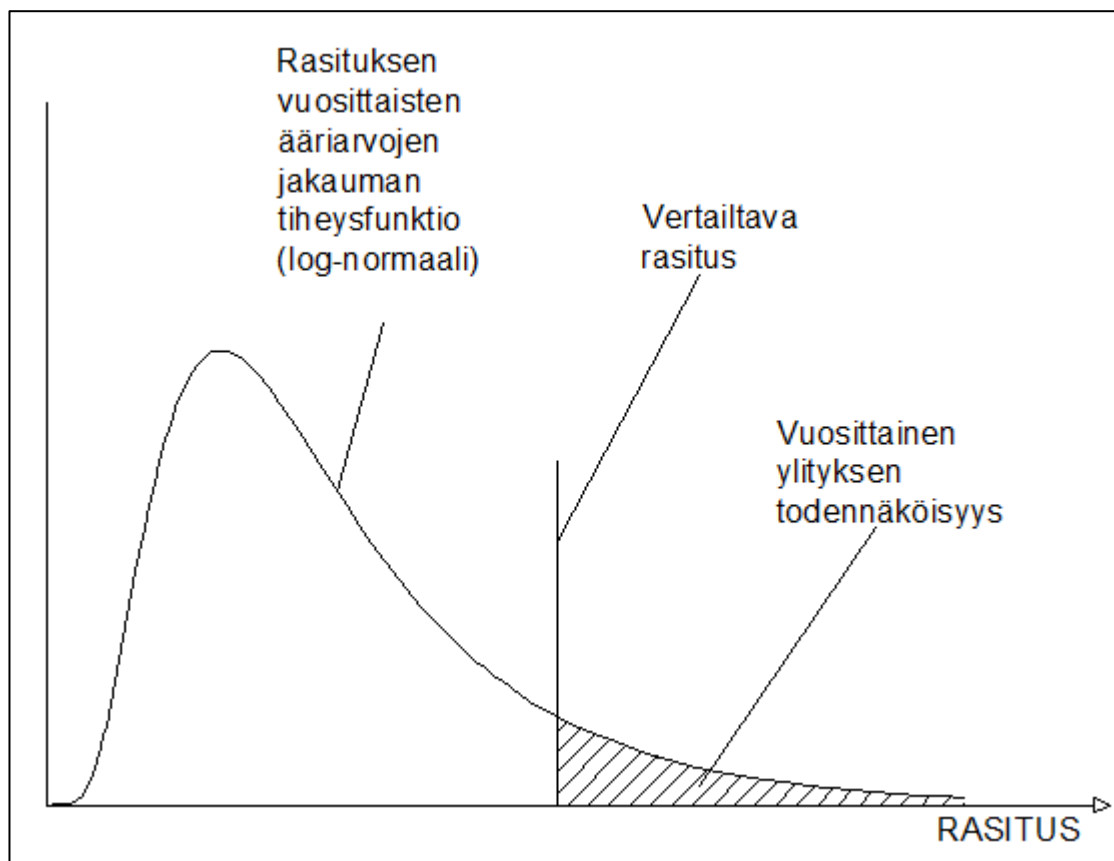
Ajoneuvonosturit, L=20, liikenneluokka 1, $k_2=0$ %										
Voimasuure	Kenttämomentti					Tukimomentti				
Määrä vuodessa	600	150	300	1200	2400	600	150	300	1200	2400
keskiarvo μ [kNm]	3,53	3,09	3,43	3,86	3,93	2,29	2,00	2,18	2,37	2,51
keskiarvon muutos	-	-12 %	-3 %	9 %	27 %	-	-13 %	-5 %	4 %	26 %
keskihajonta σ [kNm]	0,36	0,36	0,38	0,45	0,14	0,20	0,23	0,27	0,28	0,29
keskihajonnan muutos	-	-1 %	5 %	26 %	-68 %	-	15 %	38 %	42 %	28 %
Ajoneuvonosturit, L=20, liikenneluokka 1, $k_2=100$ %										
Voimasuure	Kenttämomentti					Tukimomentti				
Määrä vuodessa	600	150	300	1200	2400	600	150	300	1200	2400
keskiarvo μ [kNm]	3,67	3,23	3,52	3,95	4,04	2,52	2,28	2,53	2,69	2,88
keskiarvon muutos	-	-12 %	-4 %	8 %	25 %	-	-10 %	1 %	7 %	26 %
keskihajonta σ [kNm]	0,38	0,39	0,39	0,42	0,42	0,17	0,20	0,34	0,22	0,26
keskihajonnan muutos	-	2 %	2 %	12 %	10 %	-	18 %	103 %	34 %	33 %

Taulukon 20 tulosten perusteella voidaan todeta, että erikoiskuljetusajoneuvojen vuosittaisilla liikennemäärillä on merkittävä vaikutus rasisitusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvoihin. Ajoneuvonostureiden kohdalla liikennemäärien kasvattaminen nelinkertaiseksi kasvattaa rasisitusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvoa 25 - 27 %. Toisaalta liikennemäärien vähentäminen neljäsosaan pienentää rasisitusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvoa 10 - 13 %.

6.4 Kuormien ylitystodennäköisyydet

Ajoneuvoasetuksen mukaisen liikenteen sekä erikoiskuljetusajoneuvoja sisältävän liikenteen 30 vuoden simuloinneista tuloksiksi saatujen rasisitusten vuosittaisten ääriarvojen perusteella rasisituksille muodostettiin jakaumat. Jakaumien muodostuksessa käytettiin liitteessä B esitettyjä rasisitusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvoja ja keskihajontoja. Rasisitusten vuosittaisten ääriarvojen oletettiin noudattavan log-normaalijakaumaa parametrein μ ja σ^2 . Staattisissa laskelmissa suunnittelukuormilla LM1/LM3, LkI/Ek1 ja AkI/Ek1 sekä Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisella kuormalla lasketut kyseisistä kuormista silloille aiheutuvat rasisitukset. Liitteessä B esitetyt rasisitukset on laskettu eri jännemitoilla ja kuorman poikkisuuntaisilla jakautumisilla käyttö- ja murtorajatilassa.

Kuvassa 25 esitetyn log-normaalijakauman tiheysfunktion mukaisilla tiheysfunktioilla tarkasteltiin todennäköisyyksiä, joilla simuloidusta liikenteestä aiheutuvat rasitukset vuosittain ylittävät vertailtavista mitoituskuormista aiheutuvat rasitukset. Vertailtavasta mitoituskuormasta aiheutuva rasitus saa vaakaa-akselilla staattisin menetelmin lasketun arvonsa. Vertailtavan rasituksen vuosittaisen ylityksen todennäköisyys on tiheysfunktioista vertailtavan rasituksen oikealle puolelle jäävän osan pinta-ala.



Kuva 25. Simuloidun rasituksen tiheysfunktio, vertailtava rasitus ja vuosittaisen ylityksen todennäköisyyden laskentaperiaate

Vuosittaiset ylityksen todennäköisyydet laskettiin kaikille rasitussuureille ja jännemitoille erikseen liikenneluokissa 1 ja 2 käyttö- ja murtorajatilassa. Liitteessä D on esitetty ylityksen todennäköisyydet, joissa on huomioitu määräävin rasitussuure. Taulukkoon 21 on koottu ylityksen todennäköisyydet huomioimalla määräävä poikkisuuntainen jakautuminen, rasitussuure ja jännemitta. Taulukosta voidaan havaita, että vain ajoneuvoasetuksen mukaisia ajoneuvoja sisältävä normaali liikenne ylittää vertailtavasta kuormasta aiheutuvat rasitukset todennäköisemmin liikenneluokassa 1 kuin liikenneluokassa 2, jossa liikennemäärät ovat vähäisemmät. Murtorajatilan vertailukuormat on kerrottu osavarmuusluvulla, jolloin vertailtavat rasituksetkin ovat suurempia. Tästä johtuen käyttörajatilassa ylityksen todennäköisyydet ovat suurempia kuin murtorajatilassa.

Taulukko 21. Vertailukuormasta aiheutuvan rasituksen ylityksen todennäköisyys, kuorman poikkisuuntainen jakautuminen 33 %, 67 % tai 100 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Ylityksen todennäköisyys			
		Liikenneluokka1		Liikenneluokka2	
		KRT	MRT	KRT	MRT
LM1 / LM3	Norm.liik.	-	-	-	-
	NA	0,031	-	5,58E-05	-
	METS	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-
	MURS	6,55E-04	-	0,004	-
	LAV	-	-	3,36E-06	-
	Kaikki	0,032	-	0,004	-
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	1,000	-	0,874	-
	NA	0,414	8,46E-06	0,034	-
	METS	0,189	-	0,021	-
	HCT	0,965	-	0,831	-
	MURS	0,925	1,77E-04	0,737	6,48E-05
	LAV	0,992	-	0,999	2,28E-06
	Kaikki	1,000	1,79E-04	1,000	6,48E-05
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	1,000	0,039	0,874	1,22E-06
	NA	0,414	0,006	0,034	1,33E-04
	METS	0,189	0,001	0,021	3,34E-05
	HCT	0,965	0,003	0,831	0,002
	MURS	0,925	0,138	0,739	0,062
	LAV	0,992	0,070	0,999	0,471
	Kaikki	1,000	0,202	1,000	0,504
AA13	Norm.liik.	1,000	0,950	1,000	0,480
	NA	1,000	0,952	1,000	0,691
	METS	0,975	0,008	0,987	0,009
	HCT	0,865	1,27E-04	0,994	4,20E-06
	MURS	1,000	0,976	1,000	0,749
	LAV	1,000	0,952	1,000	1,000
	Kaikki	1,000	1,000	1,000	1,000

Kaikkia ajoneuvoryhmiä tarkasteltaessa normaaliliikennettä ja erityyppisiä erikoiskuljetusajoneuvoja ei ole simuloitu sillalle samanaikaisesti, vaan kunkin ajoneuvoryhmän sallitun rasiustason ylityksen todennäköisyys on laskettu erikseen. Kaikkien ajoneuvoryhmien tapauksessa todennäköisyys sille, että ainakin yhden ajoneuvoryhmän aiheuttamat rasitukset ylittävät suunnittelukuormasta aiheutuvat rasitukset on laskettu komplementtikaavalla

$$p_{kok} = 1 - (1 - p_{no}) \cdot (1 - p_{na}) \cdot (1 - p_{me}) \cdot (1 - p_{hct}) \cdot (1 - p_{mu}) \cdot (1 - p_{la}), (6.2)$$

jossa p_{kok} on kokonaisliikenteen todennäköisyys suunnittelukuorman ylitykseen ,
 p_{no} on normaaliliikenteen todennäköisyys suunnittelukuorman ylitykseen,
 p_{na} on ajoneuvonostureiden todennäköisyys suunnittelukuorman ylitykseen,
 p_{me} on metsäkonekuljetusten todennäköisyys suunnittelukuorman ylitykseen,
 p_{hct} on HCT-ajoneuvojen todennäköisyys suunnittelukuorman ylitykseen,
 p_{mu} on murskainkuljetusten todennäköisyys suunnittelukuorman ylitykseen ja
 p_{la} on lavettikuljetusten todennäköisyys suunnittelukuorman ylitykseen.

6.4.1 Varmuustasot

Varmuustasot kuvaavat kullekin suunnittelukuormalle ja Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaiselle kuormalle määritettyä todennäköisyyttä, jolla simuloidut rasitukset saavat kyseessä olevan kuorman ylittää. Esimerkiksi todennäköisyys 0,01 tarkoittaa sitä, että ko. suunnittelukuorman rasitustaso ylittyy kerran sadasta, eli kerran sadassa vuodessa tai vuoden aikana yhdessä sadasta täysin samanlaisesta sillasta. Valitut varmuustasot ovat samat molemmissa liikenneluokissa. Käyttö- ja murtorajatiloille erikseen määritetyt varmuustasot on esitetty taulukossa 22. Varmuustasot on määritelty kuormittain yksittäisille ajoneuvoryhmille erikseen ja kaikille ajoneuvoryhmille kokonaisuutena, jonka tarkoituksena on vastata sillan kokonaisliikennettä. Yksittäisellä ajoneuvoryhmällä tarkoitetaan ajoneuvoasetuksen mukaista liikennettä yksistään tai jonkun erikoiskuljetustyypin vuoden kuljetuksia yksistään. Kaikilla ajoneuvoryhmillä näiden kaikkien liikennemuotojen oletetaan toteutuvan vuoden aikana täysimääräisinä.

Taulukko 22. Kuormille määritetyt varmuustasot

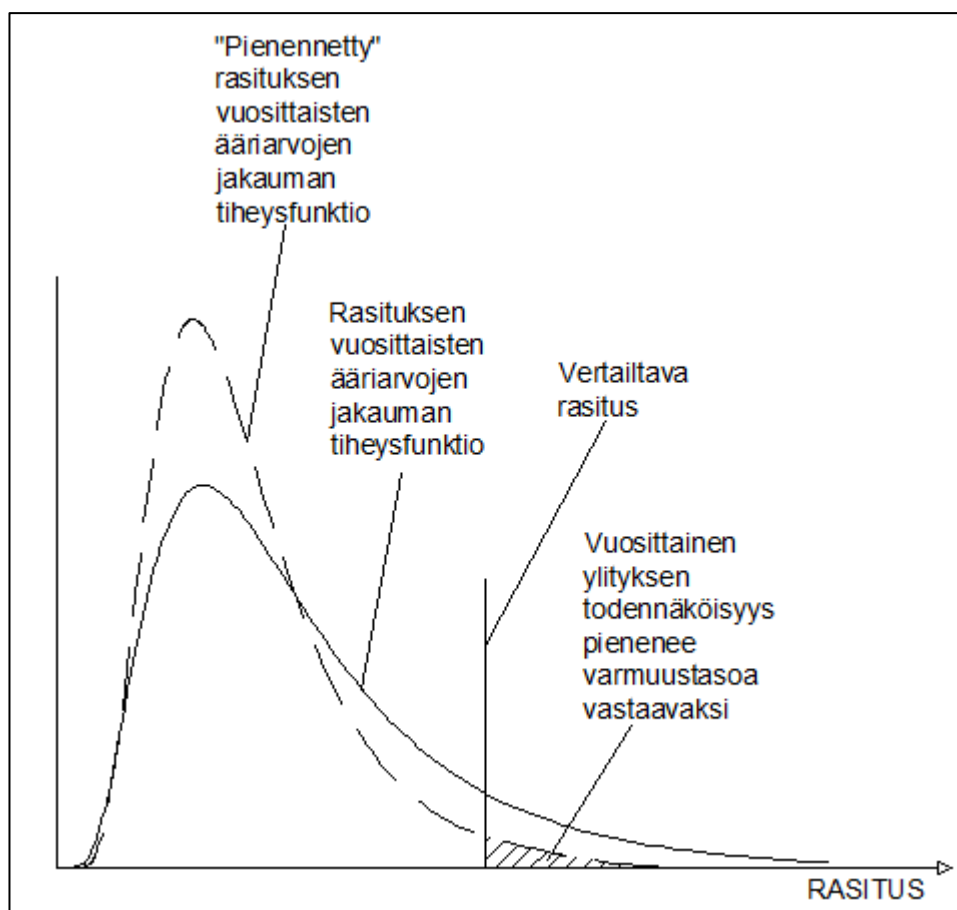
Kuormien varmuustasot			
Rajatila		KRT	MRT
LM1/LM3	Yksittäinen ajoneuvoryhmä	0,001	0,00001
	Kaikki ajoneuvoryhmät	0,005	0,00005
Lkl/Ek1	Yksittäinen ajoneuvoryhmä	0,005	0,00005
	Kaikki ajoneuvoryhmät	0,01	0,0001
Akl/Ek1	Yksittäinen ajoneuvoryhmä	0,01	0,0001
	Kaikki ajoneuvoryhmät	0,05	0,0005
AA13	Yksittäinen ajoneuvoryhmä	0,1	0,001
	Kaikki ajoneuvoryhmät	0,1	0,001

Eurokoodeissa suunnittelukuorman LM1 määrittely perusteena on ollut rasitustason ylittyminen ominaisarvoilla 1000 vuoden toistumisjaksolla Euroopan pääteiden liikenteessä [14]. Kyseinen 1000 vuoden toistumisjakso vastaa suunnittelukuorman vuosittaista ylittymisen todennäköisyyttä 0,001, jota käytetään tässä tutkimuksessa käyttörajan varmuustasona suunnittelukuormalle LM1, LM3. Muita taulukossa 22 esitettyjä

varmuustasoja ei ole määritetty minkään ohjeen mukaisesti, vaan ne on sovittu Liikenneviraston kanssa tätä tutkimusta varten. Varmuustasot on tarkoitettu olemassa olevien siltojen luotettavuuden arviointiin ja niiden määrittämisessä on otettu huomioon siltojen kantavuus suhteessa nykyisiin liikennekuormiin sekä siltojen jäljellä oleva käyttöikä. Varmuustasojen tarkoituksena on varmistaa, että olemassa olevia siltoja ei rasiteta liikaa.

6.4.2 Rasitusten pienennyskertoimet

Simuloitujen rasitusten vuosittaisten ääriarvojen jakauman keskiarvoille ja keskihajonnoille määritettiin tarvittavat pienennyskertoimet, joita käyttämällä varmuustasot saavutettaisiin. Kuvassa 26 on esitetty, miten keskiarvon ja -hajonnan pienentäminen siirtää tiheysfunktion pinta-alaa vertailutason alapuolelle. Kerroin määritettiin suurimman todennäköisyyden varmuustason ylitykseen aiheuttavan rasituksen perusteella. Tarvittavat kuormien pienennyskertoimet laskettiin taulukon 22 varmuustasoja vastaaviksi kaikilla poikkisuuntaisilla jakautumisilla käyttö- ja murtorajatilassa.



Kuva 26. Pienennyskertoimen vaikutus varmuustasoon

Taulukossa 23 on esitetty suunnittelukuormien ja Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisen kuorman varmuustasot ja varmuustasojen vaatimat rasitusten pienennyskertoimet murtorajatilassa. Vaaditut pienennyskertoimet on laskettu molemmissa liikenne-

luokissa kaikille tutkituille jännemitoille. Taulukon 23 pienennyskertoimet on laskettu ottamalla huomioon määräävin poikkisuuntainen jakautuminen tilanteista, joissa toiselta kaistalta kuormia otetaan huomioon 33 %, 67 % tai 100 %. Liitteessä E on esitetty pienennyskertoimet eritellysti kaikille tutkituille kuorman poikkisuuntaisen jakautumisen tilanteille.

Taulukko 23. Varmuustasojen vaatimat rasiusten pienennyskertoimet murtorajatilassa, kun toisen kaistan kuormista otetaan huomioon 33 %, 67 % tai 100%

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Varmuustaso	Rasiusten pienennyskertoimet murtorajatilassa, jakautumiset 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00005	1	1	0,95	1	1	1	0,95	1	1	1
	LAV	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,0001	1	1	0,95	1	1	1	1	1	1	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,0001	1	1	0,95	0,9	0,9	1	1	1	1	1
	NA	0,0001	0,85	0,9	0,9	0,95	0,85	1	0,95	1	1	1
	METS	0,0001	1	1	1	0,95	0,9	1	1	1	1	1
	HCT	0,0001	1	1	0,95	0,9	0,95	1	1	1	0,9	1
	MURS	0,0001	1	0,85	0,75	0,75	0,8	1	0,85	0,8	0,9	0,85
	LAV	0,0001	1	1	0,9	0,85	0,85	1	1	0,8	0,9	0,9
	Kaikki	0,0005	0,9	0,9	0,8	0,8	0,85	1	0,85	0,8	0,9	0,9
AA13	Norm.liik.	0,001	0,8	0,95	1	1	1	0,8	1	1	1	1
	NA	0,001	0,6	0,7	0,8	0,95	1	0,75	0,75	0,85	1	1
	METS	0,001	0,9	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	0,7	0,7	0,7	0,95	1	0,65	0,75	0,9	0,85	1
	LAV	0,001	0,75	0,95	1	1	1	0,75	0,9	0,9	0,95	1
	Kaikki	0,001	0,6	0,7	0,7	0,95	1	0,65	0,75	0,85	0,85	1

Taulukon 23 pienennyskerrointen perusteella suunnittelukuormat LM1/LM3 ja Lk1/Ek1 kattavat murtorajatilassa ajoneuvoasetuksen mukaisesta liikenteestä sekä erikoiskuljetusajoneuvoista aiheutuvat rasitukset riittävällä varmuudella. Tulosten perusteella ajoneuvonostureista aiheutuu liikenneluokassa 1 jännemitalla 10 metriä sellaisia rasituksia, joita suunnittelukuorma Ak1/Ek1 ei kata riittävällä varmuudella. Ajoneuvonostureiden kuorma on keskittynyt lyhyelle matkalle ja rinnakkaisen kaistan raskaiden ajoneuvojen kanssa niistä aiheutuu suuria välituen leikkausvoimia suhteessa suunnittelukuormaan Ak1/Ek1. Pidemmällä jännemitoilla suunnittelukuorma Ak1/Ek1 kattaa ajoneuvonostureista aiheutuvat rasitukset lähes yhtä hyvin kuin normaalista liikenteestä aiheutuvat rasitukset. Murskainten ja asfalttijyrsinten kuljetusajoneuvoista aiheutuu jännemitoilla 20 - 100 metriä sellaisia rasituksia, joita suunnittelukuorma Ak1/Ek1 ei kata. Murskaimista ja asfalttijyrsimistä aiheutuu yhdessä muun liikenteen kanssa jännemitoilla 20 – 50 metriä suuria tukimomentteja ja jännemitalla 100 metriä suuria kenttämementteja suhteessa Ak1/Ek1 kuormaan. Tyypillisesti Ak1/Ek1 kattaa rasitukset paremmin lyhyillä

kuin pitkillä jännemitoilla. Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisella kuormalla tilanne on päinvastainen, se kattaa rasitukset paremmin pitkillä kuin lyhyillä jännemitoilla.

Pienennyskerrointen tulkinassa tulee erikoiskuljetusten kohdalla ottaa huomioon, että samalla pienennetään myös erikoiskuljetuksen kanssa sillalla olevien ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen vaikutuksia. Pienennyskertoimia ei voi suoraan käyttää kertomina ajoneuvopainojen pienentämiseen, mutta niiden avulla voidaan arvioida milloin ajoneuvojen painoja olisi syytä pienentää.

Verrattaessa taulukon 23 simuloitujen rasitusten pienennyskertoimia taulukon 15 suhteellisiin staattisiin rasituksiin, havaitaan, että Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukaisella [4] kuormalla suhteelliset rasitukset ovat suurimmillaan niillä ajoneuvoilla ja jännemitoilla, joilla simuloituja rasituksia tulisi eniten pienentää. Suunnittelukuormalla AkI/Ek1 simuloitujen rasitusten pienennyskertoimet kasvavat tyypillisesti 100 metrin jännemitoilla, koska sujuvan liikenteen simuloinneissa sillan kannella on harvoin niin paljon ajoneuvoja kuin sinne mahtuisi. Suhteelliset staattiset rasitukset eivät pienene, koska sijoittelut tehdään Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaan ja pitkillä jännemitoilla mukana on pinta-ala kuorma, jonka intensiteetti on suurempi kuin suunnittelukuorman AkI/Ek1 nauhakuorman intensiteetti. Tuloksia vertailtaessa tulee huomioida, että taulukon 23 simuloituissa rasituksissa on huomioitu määrittävin kuorman poikkisuuntaisen jakautumisen tilanteista 33 %, 67 % ja 100 %. Taulukon 15 suhteellisissa staattisissa rasituksissa on huomioitu vain poikkisuuntainen jakautuminen 33 %.

Varmuustason valinta vaikuttaa tarvittavaan rasitusten pienennyskertoimeen. Pienennyskertoimen pieneneminen suhteessa varmuustasoon riippuu simulaation tuloksena saadun rasitusjakauman parametreista ja kuvan 26 mukaisesti kohdasta, johon vertailtava rasitus asettuu suhteessa rasitusjakaumaan. Liitteessä F on esitetty herkkyystarkastelut, miten varmuustasojen muutokset vaikuttavat murtorajatilän pienennyskertoimiin, kun taulukon 22 mukaisia arvoja pienennetään tai suurennetaan 10- tai 100-kertaisesti. Taulukossa 24 esitetään varmuustason muutoksen vaikutukset, kun tarkastellaan ajoneuvonostureita murtorajatilassa ja vertailukuormana on Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukainen kuorma tai suunnittelukuorma AkI/Ek1.

Taulukko 24. Ajoneuvonostureista aiheutuvien rasitusten pienennyskertoimet erilaisilla varmuustasoilla, kun vertailukuormana on AkI/Ek1tai Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukainen kuorma

Vertailukuorma	Simuloitu-kuorma	Varmuustaso	MRT, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
Ak1 / Ek1	NA	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,001	0,9	0,95	0,95	1	0,9	1	1	1	1	1
	NA	0,0001	0,85	0,9	0,9	0,95	0,85	1	0,95	1	1	1
	NA	0,00001	0,8	0,85	0,85	0,9	0,8	1	0,9	1	1	1
	NA	0,000001	0,8	0,8	0,85	0,85	0,75	1	0,85	0,9	0,95	0,9
AA13	NA	0,1	0,75	0,85	1	1	1	0,85	0,9	1	1	1
	NA	0,01	0,65	0,75	0,9	1	1	0,8	0,8	0,95	1	1
	NA	0,001	0,6	0,7	0,8	0,95	1	0,75	0,75	0,85	1	1
	NA	0,0001	0,55	0,65	0,75	0,9	1	0,7	0,7	0,8	1	1
	NA	0,00001	0,55	0,6	0,7	0,85	1	0,7	0,65	0,7	0,95	1

Taulukon 24 mukaan ajoneuvonostureista aiheutuvia rasituksia ei tarvitsisi pienentää suunnittelukuormalla AkI/Ek1 mitoitettulla sillalla millään jännemitalla, jos käytettäisiin 100-kertaista varmuustasoa. Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisella kuormalla mitoitetuilla silloilla rasituksia ei tarvitsisi pienentää, vaikka käytettäisiin 100-kertaisesti pienennettyä varmuustasoa, jos jännemitta on 100 metriä.

6.5 Simuloitujen rasitusten pienentäminen

Simuloituja rasituksia pienennettiin ajoneuvojen painoja redusoidulla. Ajoneuvojen painoja pienennettiin, jotta ajoneuvoista aiheutuvat rasitukset pienenevät vastamaan murto-rajatilan varmuustasoa. Ajoneuvojen painot pienennettiin murto-rajatilan vaatimalle tasolle ja pienennysten vaikutukset tutkittiin myös käyttö-rajatilassa. Taulukon 23 perusteella rasituksia tuli pienentää Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisen kuorman ja suunnittelukuorman AkI/Ek1 kohdalla.

Erikoiskuljetusajoneuvoille, joiden painoja täytyi pienentää, suoritettiin tarvittavat uudet simulaatiot redusoiduilla ajoneuvopainoilla. Normaalisti liikenteestä aiheutuvia rasituksia pienennettiin asettamalla ajoneuvoille tarvittavat liikennemerkkien mukaiset painorajoitukset uusiin simulointeihin. Painojen redusoinnit suoritettiin tilanteessa, jossa otettiin huomioon määräävä rasitus ja määräävä poikkisuuntainen jakautuminen. Poikkisuuntaisista jakautumista tarkasteluissa mukana olivat tapaukset, joissa otettiin huomioon yhden kaistan lisäksi toiselta kaistalta tulevista kuormista 33 %, 67 % tai 100 %. Vain yhdeltä kaistalta tulevat kuormat huomioonottava poikkisuuntainen jakautuminen jätettiin tarkasteluiden ulkopuolelle, koska sen esiintyminen todellisilla silloilla on harvinaista.

Seuraavissa kappaleissa esitetään erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassojen pienentämismenettely Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisen kuorman osalta. Samaa menettelytapaa käytettiin suunnittelukuorman AkI, Ek1 kohdalla, mutta sen osalta esitetään vain tulokset johtopäätöksissä kappaleessa 7.

Erikoiskuljetusten ajoneuvopainojen pienentäminen toteutettiin aina ajoneuvoryhmittäin kokonaismassojen keskiarvoa ja -keskihajontaa pienentämällä. Erikoiskuljetusajoneuvojen kanssa sillalla liikkuvien ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen kokonaispainoja ei muutettu. Taulukossa 25 on esitetty jännemitoittain ja liikenneluokittain kertoimet, joilla kunkin ajoneuvoryhmän aiheuttaman määräävimmän rasituksen ääriarvojakauden keskiarvoa ja -hajontaa pitäisi murtorajatilassa pienentää. Taulukon 25 varmuustasosarakkeessa on ilmoitettu ajoneuvoryhmittäin todennäköisyys, millä ajoneuvoryhmästä aiheutuvat rasitukset saavat vuosittain ylittää Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisen kuorman. Varmuustason saavuttaminen vaatii ajoneuvonostureista, murskainten ja asfalttijyrsinten kuljetusajoneuvoista sekä lavettiajoneuvoista aiheutuvien rasitusten pienentämistä. Rasitustasoa tulisi laskea etenkin 10, 20 ja 30 metrin jännemitoilla molemmissa liikenneluokissa. Ajoneuvojen painojen pienennystarpeet ovat suurimmillaan 10 metrin jännemitoilla ajoneuvonostureiden kohdalla.

Taulukko 25. Varmuustasojen saavuttamiseksi vaadittavat rasitusten pienennyskertoimet murtorajatilassa

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Varmuustaso	Rasitusten pienennyskertoimet murtorajatila, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
AA13	NA	0,001	0,6	0,7	0,8	0,95	1	0,75	0,75	0,85	1	1
	METS	0,001	0,9	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	0,7	0,7	0,7	0,95	1	0,65	0,75	0,9	0,85	1
	LAV	0,001	0,75	0,95	1	1	1	0,75	0,9	0,9	0,95	1

Käyttörajatilassa varmuustasojen ylityksen todennäköisyys on suurempi. Käyttörajatilassa jokaisesta erillisestä erikoiskuljetusajoneuvoryhmästä aiheutuu rasituksia, joita pitäisi pienentää ainakin yhdellä tutkituista jännemitoista. Taulukon 26 mukaan käyttörajatilassakin merkittävimmät rasitusten pienennystarpeen aiheuttavat ajoneuvonosturit, murskainten ja asfalttijyrsinten kuljetusajoneuvot sekä lavettiajoneuvot.

Taulukko 26. Varmuustasojen saavuttamiseksi vaadittavat rasitusten pienennyskertoimet käyttörajatilassa

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Varmuustaso	Rasitusten pienennyskertoimet käyttörajatila, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
AA13	NA	0,1	0,55	0,6	0,7	0,85	1	0,65	0,65	0,75	0,95	1
	METS	0,1	0,8	0,85	1	1	1	0,8	0,85	1	1	1
	HCT	0,1	0,95	0,85	0,95	0,85	1	0,85	0,85	0,95	0,9	1
	MURS	0,1	0,6	0,6	0,65	0,75	0,85	0,6	0,65	0,75	0,75	0,9
	LAV	0,1	0,6	0,75	0,8	0,75	0,9	0,6	0,7	0,75	0,7	0,9

Erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassat redusoidiin sellaisiksi, että yhdessä ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen kanssa, niistä aiheutuvat rasitukset olivat asetettujen varmuustasojen mukaisia. Lavettiajoneuvojen, HCT-ajoneuvojen, metsäkoneen kuljetusajoneuvojen ja betonipumppuautojen kokonaismassan keskiarvoja ja -hajontoja pienennettiin vain täysien ajoneuvojen osalta. Kyseiset ajoneuvot ovat tyhjinä huomattavasti kevyempiä kuin täysinä ja niiden erottelu kuormattuihin ja tyhjiin on selkeää.

Muiden erikoiskuljetusajoneuvojen kohdalla pienennetään myös keveiden ajoneuvojen kokonaismassan keskiarvoa ja -hajontaa, koska kaikkien ajoneuvojen kohdalla täysien ja keveiden ajoneuvojen erottelu tyhjiin ja kuormattuihin ei ole selkeää tai ajoneuvo itsessään on painava. Redusoiduilla painoilla suoritetuissa simulaatioissa erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassojen keskiarvoille ja -hajonnoille käytettiin taulukon 27 mukaisia kertoimia. Uudet simulaatiot tehtiin liikenneluokassa 1 10, 20 ja 30 metrin jännemitoilla ja liikenneluokassa 2 10, 20, 30 ja 50 metrin jännemitoilla. Kokonaispainojen pienentämistarvetta ei ole liikenneluokassa 1 jännemitoilla 50 ja 100 metriä ja liikenneluokassa 2 jännemitoilla 100 metriä.

Taulukko 27. Redusoiduilla painoilla tehdyissä simulaatioissa erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassojen keskiarvoille ja -hajonnoille käytetyt kertoimet

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	EK-ajoneuvojen painojen kertoimet murtorajatila, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
		Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
		10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
AA13	NA	0,7	0,7	0,8	1	1	0,8	0,9	0,9	1	1
	METS	0,9	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1
	HCT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,7	0,8	0,8	1	1	0,7	0,8	0,9	0,9	1
	LAV	0,8	1	1	1	1	0,8	0,9	0,9	1	1

Erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassojen alentaminen taulukon 27 mukaisilla kertoimilla pienentää rasituksia niin, että varmuustasot saavutetaan murtorajatilassa. Haluttu varmuustaso katsottiin saavutetuksi, kun määräävimmän rasituksen pienennystarve oli korkeintaan 5 %. Taulukossa 28 on esitetty pienennetyillä erikoiskuljetusajoneuvojen painoilla tehtyjä simulointeja vastaavat vaadittavat rasitusten pienennyskertoimet murtorajatilassa.

Taulukko 28. Redusoiduilla erikoiskuljetusajoneuvojen painoilla tehtyjen simulointien perusteella vaadittavat rasitusten pienennyskertoimet murtorajatilassa

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Varmuustaso	Kuormien pienennyskertoimet murtorajatila, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
AA13	NA	0,001	1	1	1	0,95	1	1	0,95	1	1	1
	METS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	1	1	1	0,95	1	1	1	0,95	1	1
	LAV	0,001	0,95	0,95	1	1	1	0,95	1	1	0,95	1

Taulukossa 29 on esitetty käyttörajatilassa varmuustasojen saavuttamiseksi vaaditut rasitusten pienennyskertoimet, kun erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassat on alennettu taulukon 27 tasolle, jolla murtorajatilassa varmuustasot saavutetaan.

Taulukko 29. Redusoiduilla erikoiskuljetusajoneuvojen painoilla tehtyjen simulointien perusteella vaadittavat rasisusten pienennyskertoimet käyttörajatilassa

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Varmuus- taso	Kuormien pienennyskertoimet käyttörajatila, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
AA13	NA	0,1	0,95	0,9	0,95	0,85	1	0,85	0,8	0,9	0,95	1
	METS	0,1	0,9	0,85	1	1	1	0,9	0,85	1	1	1
	HCT	0,1	0,95	0,85	0,95	0,85	1	0,85	0,85	0,95	0,9	1
	MURS	0,1	0,95	0,8	0,95	0,75	0,85	0,95	0,8	0,85	0,85	0,9
	LAV	0,1	0,8	0,75	0,8	0,75	0,9	0,75	0,8	0,85	0,7	0,9

Erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassojen redusointien vaikutukset käyttörajatilassa vaadittujen rasisusten pienentämiseen havaitaan vertailemalla taulukoita 26 ja 29. Taulukoista käy ilmi, että tilanne on rasisusten pienennystarpeiden osalta huomattavasti parempi myös käyttörajatilassa. Tehdyillä ajoneuvojen kokonaismassojen pienennyksillä rasisukset asettuvat tasolle, joka voisi olla käyttörajatilassa siedettävä.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET

7.1 Ajoneuvojen teoreettiset painorajoitukset

Tässä esitetyissä painorajoituksissa tulee huomioida, että ne on määritetty tiettyjen rakennemallien, jännemittojen ja kuormien poikkisuuntaisen jakautumisen perusteella. Painorajoitukset on säädetty siten, että mitoituskuormien murtorajatilán varmuudet ovat riittäviä kaikkein määräävimällä jännemitalla ja kuorman poikkisuuntaisella jakautumisella. Painorajoitusten myötä ajoneuvojen kokonaismassojen keskihajontojen on oletettu pienenevän samassa suhteessa kuin kokonaismassojen keskiarvojen. Tulosten perusteella ei voida suoraan määrittää yksittäisen sillan painorajoituksia, mutta niiden perusteella voidaan arvioida tavallisen liikenteen liikennemäärien sekä erityyppisten erikoiskuljetusajoneuvojen vaikutuksia mitoituskuormien varmuuteen.

Painorajoitusten arvioinnin perusteena on käytetty simuloimalla laskettuja rasituksia ja taulukon 22 mukaisia kuormien murtorajatilán varmuustasoja, jotka on määritetty tätä tutkimusta varten. Liikenteen on oletettu olevan sujuvaa, ruuhkatilanteita ei ole otettu huomioon. Tutkimuksessa on huomioitu vain raskaista ajoneuvoista sekä erikoiskuljetusajoneuvoista silloille aiheutuvat rasitukset, joita on verrattu suunnittelukuormista LM1/LM3, LkI/Ek1 ja AkI/Ek1 sekä Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisesta kuormasta aiheutuviin rasituksiin. Siltarakenteiden omia painoja tai kestävyyskiä ei ole käsitelty tässä tutkimuksessa.

Tutkimuksessa on tarkasteltu vain kaksiaukkoisia symmetrisiä palkkimalleja, joissa päällysrakennetta kuormittaa kaksi 3,0 metriä leveää kuorma- tai ajokaistaa. Todellisilla silloilla ajokaistojen leveydet vaihtelevat ja ovat yleensä suurempia kuin kuormakaistojen leveydet. Käytetyt kuormanjakokertoimet 0 %, 33 %, 67 % ja 100 % ottavat huomioon yhtä suuren osuuden toiselta kuorma- ja ajokaistalta tulevista rasituksista. Tilanteita, joissa kuormakaistojen yhteenlaskettu leveys olisi suurempi kuin 6,0 metriä ei ole huomioitu. Teoreettisten painorajoitusten lähtökohtana on käytetty määräävintä kuormanjakokertoimista 33 %, 67 % ja 100 %.

Taulukon 23 mukaisten rasitusten pienennyskertoimien perusteella LM1/LM3 tai LkI/Ek1 mukaisella kuormalla mitoitetuilla silloilla varmuus on riittävä sekä ajoneuvoasetuksen mukaiselle liikenteelle että erikoiskuljetusajoneuvoille. Suunnittelukuorman AkI/Ek1 tai Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] kuorman mukaisilla kuormilla mitoitetuilla silloilla esiintyy tilanteita, joissa kuormien varmuudet eivät ole laskelmien mukaan riittäviä.

7.1.1 Suunnittelukuorma LM1/LM3

Tutkimustulosten perusteella nykyisin käytössä olevan suunnittelukuorman LM1/LM3 mukaisilla kuormilla mitoitetuilla silloilla varmuus on riittävä, eikä painorajoituksia tarvita. Ajoneuvoasetuksen mukaisesta liikenteestä tai tutkimukseen valituista erikoiskuljetusajoneuvoista ei taulukon 23 mukaan synny simulaatioissa sellaisia rasituksia, joita suunnittelukuorma LM1/LM3 ei kattaisi. Yksittäisten ajoneuvojen ominaisarvoilla tehdyissä staattisissa tarkasteluissa tutkimuksessa käytetyistä ajoneuvoista ei taulukon 15 mukaisesti aiheutunut sellaisia rasituksia, joita suunnittelukuorma LM1/LM3 ei kattaisi.

On kuitenkin syytä huomioida, että lyhyillä jännemitoilla tarkasteltaessa yhtä kuorma- ja ajokaistaa ajoneuvonostureista sekä murskainten ja asfalttijyrsinten kuljetusajoneuvoista voi aiheutua varmuustasoa suuremmalla todennäköisyydellä suunnittelukuorman LM1/LM3 ylittäviä rasituksia. Rasitusten pienennyskertoimet poikkisuuntaiselle jakautumiselle, joka ottaa kuormat huomioon vain yhdeltä kaistalta on esitetty liitteessä E. Kyseisillä erikoiskuljetusajoneuvoilla suurimman todennäköisyyden suunnittelukuorman LM1/LM3 ylitykseen aiheuttaa leikkausvoima välituella. Suhteellisen suuret välituen leikkausrasitukset aiheutuvat kyseisten erikoiskuljetusajoneuvojen raskaista akseli-ryhmistä.

Ajoneuvoasetuksen muutoksen seurauksena tavallista liikennettä mitoittavan kuormakaavion LM1 kansallisesti valittavia kertoimia muutettiin vuonna 2014. Kuormakaavioita LM3 ei päivitetty vuonna 2014. Tämän tutkimuksen yhteydessä tutkittiin aiheutuuko kuormakaaviosta LM3 enää mitoittavia rasituksia vai kattaako muunneltu kuormakaavio LM1 ne. Liitteessä B esitetyistä tuloksista voidaan havaita, että kuormakaavio LM3 mitoittaa usein tilanteet, joissa tarkastellaan yhtä kuormakaistaa. Jännemitan ollessa 20 metriä kuormakaavio LM3 aiheuttaa määräävämmän rasituksen kahden kuormakaistan tarkasteluissa tukimomenttien osalta. Yleensä kuormakaavio LM1 mitoittaa tilanteet, joissa tarkastellaan kahdelta kuormakaistalta aiheutuvia rasituksia. Jännemitan kasvaessa pidemmäksi kuin 20 metriä kuormakaaviosta LM3 aiheutuvat rasitukset pienenevät suhteessa kuormakaaviosta LM1 aiheutuviin rasituksiin.

7.1.2 Suunnittelukuorma LkI/Ek1

Suunnittelukuorman LkI/Ek1 varmuus on taulukon 23 mukaan riittävä simuloituille rasituksille, eikä ajoneuvojen painoja ei tarvitse rajoittaa suunnittelukuorman LkI/Ek1 mukaisesti mitoitetuilla silloilla.

Pitkillä jännemitoilla, tarkasteltaessa vain yhtä kuorma- ja ajoneuvokaistaa, ajoneuvoasetuksen mukaisesta liikenteestä sekä erikoiskuljetusajoneuvoista aiheutuu rasituksia, joita suunnittelukuorma LkI/Ek1 ei kata taulukossa 22 määritetyllä varmuudella. Varmuustasojen ylityksiin johtavat poikkisuuntaisen jakautumisen tilanteet on esitetty

liitteessä E. Taulukossa 15 esitetyille, yksittäisille ajoneuvoille ominaisarvoilla suorite-
tuissa staattisissa tarkasteluissa kokonaismassaltaan painavimmat erikoiskuljetusajo-
neuvot aiheuttavat suurimmat suhteelliset rasitukset pitkällä jännemitoilla. Suunnittelu-
kuorman LkI/Ek1 kannalta on merkitsevämpää sillalla olevan kuorman kokonaismäärä
kuin yksittäiset raskaat akselit tai telit.

7.1.3 Suunnittelukuorma AkI/Ek1

Kappaleessa 7.1 esitettyjen teoreettisten painorajoitusten lähtöoletusten mukaan suun-
nittelukuorman AkI/Ek1 mukaisella kuormalla mitoitetuilla silloilla ajoneuvojen painoja
tulisi rajoittaa, jotta varmuus olisi taulukon 22 mukainen. Taulukon 23 rasitusten pie-
nennyskerrointen perusteella ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen painoja tulisi
rajoittaa liikenneluokassa 1 jännemitoilla 50 ja 100 metriä. Vaadittava rajoitus yksittäi-
selle ajoneuvoasetuksen mukaiselle ajoneuvolle on 30 tonnia. Ajoneuvojen akseli- tai
telikuormia ei tarvitse rajoittaa, koska rasitusten pienennystarve on vain pitkällä jänne-
mitoilla. Liikenneluokassa 2 ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen painoja ei tar-
vitse rajoittaa. Liikenneluokan 2 vähäisemmät liikennemäärät pienentävät rasituksia
pitkällä jännemitoilla, joilla liikenneluokassa 1 muodostuu määräävimmit rasitukset
suurempien ajoneuvomäärien vuoksi.

Erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassarajojen määrittämisessä on oletettu, että ajo-
neuvoasetuksen mukaisilla ajoneuvoilla ei ole painorajoituksia. Suunnittelukuorman
AkI/Ek1 mukaisilla kuormilla mitoitetuilla silloilla erikoiskuljetusajoneuvoille suositel-
tavat kokonaismassarajat ovat taulukon 30 mukaiset. Taulukossa 30 määräävät jännemi-
tat tarkoittavat jännemittoja, joilla riittävän varmuuden saavuttaminen vaatii kokonais-
massan rajoittamista.

Taulukko 30. Erikoiskuljetusajoneuvojen suositellut enimmäismassat suunnittelukuormalla AkI,Ek1 mitoitetuille silloille

Ajoneuvo tyyppi	Alatyytit	Suurin sallittu paino lk1 [tonnia]	Suurin sallittu paino lk2 [tonnia]	Akseleiden vähimmäismäärä [kpl]	Etu- ja takakselien välinen minimi etäisyys [m]	Määräävät jännemitat lk1	Määräävät jännemitat lk2
Ajoneuvonosturi	NA1	21	24*	2	3,5	10-100 m	-*
	NA2	32	36*	3	7,0		
	NA3	43	48*	4	5,6		
	NA4	54	60*	5	7,2		
	NA5	64	72*	6	12,2		
Metsäkoneen kuljetusajoneuvo, Betonipumppuauto, Dumpperi	METS1	25	28*	3	7,5	100 m	-*
	METS2	33	37*	4	7,6		
	METS3	36	40*	5	7,6		
	BPUMP	43	48*	5	9,2		
	DUMP	22	25*	2	3,5		
HCT-ajoneuvo	HCT1	72	81	11	25,7	50 m	50 m
	HCT2	75	84	12	25,3		
	HCT3	77	87	12	25,0		
	HCT4	80	90	11	27,0		
	HCT5	84	95	12	28,2		
Murskaimen kuljetusajoneuvo, asfalttijyrsimen kuljetusajoneuvo	MURS1	70	70	7	19,2	20-100 m	20-100 m
	MURS2	86	86	8	18,8		
	MURS3	80	80	8	17,6		
	ASF1	95	95	10	25,2		
	ASF2	108	108	11	25,8		
Lavettiajoneuvo	LAV1	70	80	9	22,4	30-100 m	30-100 m
	LAV2	77	88	13	27,3		
	LAV3	77	88	9	31,4		
	LAV4	84	96	13	37,3		
	LAV5	94	108	20	30,6		
* Alkuperäisiä erikoiskuljetusajoneuvojen painoja ei ole rajoitettu							

Suunnittelukuorma AkI/Ek1 kattaa lyhyillä jännemitoilla yksittäisistä erikoiskuljetusajoneuvoista aiheutuvat rasitukset hyvin kuormakaavion Ek1 johdosta. Pitkillä jännemitoilla raskaimmista erikoiskuljetusajoneuvoista aiheutuu yhdessä ajoneuvoasetuksen mukaisen liikenteen kanssa rasituksia, joita suunnittelukuorma AkI ei pysty kattamaan nauhakuorman pienen intensiteetin vuoksi. Taulukkoon 15 kootuista suhteellisista staattisista rasituksista havaitaan, että myös yksittäisistä erikoiskuljetusajoneuvoista aiheutuvat suhteelliset rasitukset kasvavat jännemitan pidentyessä.

7.1.4 Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukainen kuorma

Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisessa kuormassa on huomioitu kyseisen ohjeen mukaiset kaksi ajoneuvoa AA13/42 tai AA13/76 tai toinen näistä yhdistettynä pintakuormaan, jonka intensiteetti on $4,5 \text{ kN/m}^2$. Muista vertailtavista kuormista poiketen kuormassa ei ole mukana kuormakaaviota, joka ottaisi huomioon erikoiskuljetusajoneu-

vot. Kappaleessa 7.1 esitettyjen teoreettisten painorajoitusten lähtöolettamusten perusteella Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisella kuormalla mitoitetuilla silloilla taulukon 22 mukaisten varmuustasojen saavuttamiseksi tulisi ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen painoja rajoittaa liikenneluokassa 1 ja liikenneluokassa 2 jännemittalla 10 metriä. Ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen suurin sallittu 3-akseliselle telille kohdistuva massa ei saisi ylittää 21 tonnia ja ajoneuvon suurin sallittu massa tulisi rajoittaa 30 tonniin. Liikenneluokkia 1 ja 2 ei ole syytä erotella ajoneuvoasetuksen mukaisen liikenteen osalta, koska määräävät rasitukset syntyvät tilanteista, joissa vuosittaisella kokonaisliikennemäärällä ei ole juurikaan merkitystä. Määräävät rasitukset syntyvät lyhyillä jännemitoilla raskaista telikuormista, joten niiden rajoittaminen on välttämätöntä. Taulukon 23 mukaan yli 20 metrin jännemitoilla ajoneuvoasetuksen mukaisten ajoneuvojen painoja ei tarvitsisi rajoittaa.

Erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassarajojen määrittämisessä on oletettu, että ajoneuvoasetuksen mukaisilla ajoneuvoilla ei ole painorajoituksia. Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisilla kuormilla mitoitetuilla silloilla erikoiskuljetusajoneuvoille suositeltavat kokonaismassarajat ja määräävät jännemitat ovat liikenneluokittain taulukon 31 mukaiset. Määräävillä jännemitoilla tarkoitetaan niitä jännemittoja, joilla varmuustason saavuttaminen vaatii erikoiskuljetusajoneuvojen kokonaismassan rajoittamista.

Taulukko 31. Erikoiskuljetusajoneuvojen suositellut enimmäismassat Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaisella kuormalla mitoitetuille silloille

Ajoneuvo tyyppi	Alatyyppit	Suurin sallittu paino lk1 [tonnia]	Suurin sallittu paino lk2 [tonnia]	Akseleiden vähimmäismäärä [kpl]	Etu- ja takakselien välinen minimi etäisyys [m]	Määräävät jännemitat lk1	Määräävät jännemitat lk2
Ajoneuvonosturi	NA1	16	19	2	3,5	10-30 m	10-30 m
	NA2	25	28	3	7,0		
	NA3	33	38	4	5,6		
	NA4	42	48	5	7,2		
	NA5	50	57	6	12,2		
Metsäkoneen kuljetusajoneuvo, Betonipumppuauto, Dumpperi	METS1	25	25	3	7,5	10 m	10 m
	METS2	33	33	4	7,6		
	METS3	36	36	5	7,6		
	BPUMP	43	43	5	9,2		
	DUMP	22	22	2	3,5		
HCT-ajoneuvo	HCT1	90*	90*	11	25,7	- *	- *
	HCT2	94*	94*	12	25,3		
	HCT3	97*	97*	12	25,0		
	HCT4	100*	100*	11	27,0		
	HCT5	106*	106*	12	28,2		
Murskaimen kuljetusajoneuvo, asfalttijärsimen kuljetusajoneuvo	MURS1	61	61	7	19,2	10-30 m	10-50 m
	MURS2	75	75	8	18,8		
	MURS3	70	71	8	17,6		
	ASF1	83	83	10	25,2		
	ASF2	94	94	11	25,8		
Lavettiajoneuvo	LAV1	80	80	9	22,4	10 m	10-30 m
	LAV2	88	88	13	27,3		
	LAV3	88	88	9	31,4		
	LAV4	96	96	13	37,3		
	LAV5	108	108	20	30,6		
* Alkuperäisiä erikoiskuljetusajoneuvojen painoja ei ole rajoitettu							

Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukainen kuorma kattaa pitkillä jännemitoilla erikoiskuljetusajoneuvoista aiheutuvat rasitukset hyvin. Erikoiskuljetusajoneuvot, joissa on lyhyelle matkalle keskittyneitä kuormia, aiheuttavat lyhyillä jännemitoilla rasituksia, joita Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukainen kuorma ei kata riittävällä varmuudella. Taulukossa 15 ja liitteessä C esitetyistä erikoiskuljetusajoneuvojen suhteellisista staattisista rasituksista havaitaan, että suurimmat suhteelliset rasitukset syntyvät simuloitujen tulosten tapaan lyhyillä jännemitoilla.

Simulointitulosten perusteella Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukainen kuorma kattaa paremmin HCT- ja lavettiajoneuvoista aiheutuvat rasitukset kuin suunnittelukuorma Aki/Ek1, kun molemmista suunnittelukuormista huomioidaan se jännemitta, joka antaa määräävimmän vaikutuksen. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että Siltojen kantavuuslaskentaohjeen mukaiselle kuormalle määritetty varmuustaso on suurempi kuin suunnittelukuorman Aki/Ek1 varmuustaso. Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4]

mukainen kuorma aiheuttaa mitoittavamman vaikutuksen määrääviin rasisuureisiin pitkällä jännemitoilla kuin suunnittelukuorma $AkI/Ek1$. HCT- ja lavettiajoneuvoista aiheutuva kuorma jakaantuu pitkälle matkalle ja yhdessä muun liikenteen kanssa kokonaiskuorma pitkällä silloilla kasvaa suureksi sujuvankin liikenteen tarkasteluissa. Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukainen kuorma kattaa tämän tyyppisistä ajoneuvoista aiheutuvat rasitukset hyvin. HCT-ajoneuvojen painoja ei tarvitse tulosten perusteella rajoittaa, vaikka kyseinen kuorma ei sisällä erikoiskuljetusajoneuvoja huomioonottavaa kuormakaaviota.

7.2 Jatkotutkimustarpeet

Tulevina vuosina akselimassatutkimuksista ja LAM-pisteistä kerättävät tiedot osoittavat millaiseksi ajoneuvokanta alkaa muodostua. Siirtymäajan päättymisajankohdan lähestyessä on todennäköistä, että ajoneuvojen kokonaismassat nousevat ja silloille aiheutuvat suhteelliset rasitukset kasvavat. Toisaalta painavampien ajoneuvojen myötä ajoneuvojen kokonaisliikennemäärän on oletettu laskevan. Teoriassa tällä on positiiviset vaikutukset, koska suuri osa silloista on suunniteltu $LkI/Ek1$ tai $AkI/Ek1$ suunnittelukuormilla, jotka kestävät paremmin vähäisestä määrästä hyvinkin raskaista ajoneuvoista aiheutuvia rasituksia. Tämän tutkimuksen lähtötietoja on syytä päivittää, jos havaitaan, että ajoneuvojakaumat ja akselimassat eivät kehity oletetulla tavalla.

Kaikkien reitti- tai reitistöluvilla toteutettavien erikoiskuljetusten määrää ei tällä hetkellä seurata tai tilastoida. Simulaatioiden tuloksista on havaittavissa, että reitti- ja reitistöluvilla toteutuvien erikoiskuljetusten määrällä on huomattavia vaikutuksia silloille aiheutuvien rasitusten muodostumiseen. Kaikkien erikoiskuljetusten liikennemääriä olisi syytä seurata ja tilastoida, tällöin myös niistä aiheutuvien rasitusten tarkastelu ja ennakoitavuus helpottuu.

Tutkimuksessa on huomioitu ja vertailtu ainoastaan liikennekuormista aiheutuvia rasituksia. Yksittäisen sillan tai siltatyyppin kokonaisvarmuuden selvityksessä tulee huomioida myös sillan oma paino, muut ulkoiset kuormat sekä sillan kestävyysvaikuttavat tekijät osavarmuuslukuineen. Simulointi tuloksista muodostettujen rasitusjakaumien rinnalle pitäisi laskea myös kestävyysjakaumat, jotta kokonaisvarmuus voitaisiin selvittää tarkemmin. Kriittisimmät rasitustilanteet tulisi tarkastella todellisilla silloilla. Näissä tarkasteluissa tulisi ottaa huomioon siltojen todelliset hyötyleveydet sekä simuloitujen kuormien poikkisuuntainen jakautuminen tarkasteltavassa rakenteessa.

Liikenne ruuhkia ei ole esiintynyt tässä tutkimuksessa käytettyjen LAM-pisteiden tiedoissa, eikä ruuhkatilanteita ole huomioitu liikenteestä aiheutuvissa rasituksissa. Se ei kuitenkaan tarkoita, että ruuhkia ei esiinny lainkaan. Raskaita ajoneuvoja sisältäviä liikenne ruuhkia voi esiintyä esimerkiksi satamien ja rajatarkastusasemien läheisyydessä tai liikenneonnettomuustilanteissa. Tätä projektia tulisi jatkaa liikenne ruuhkista aiheutuvien rasitusten tarkastelulla. Liikenne ruuhkista voi aiheutua pidemmällä jännemitoilla

sellaisia rasituksia, joita sujuvan liikenteen simulaatioilla ei pystytä kattamaan. Ruuhkista ei ole saatavilla mitattua tietoa, joten ruuhkien tarkastelu tulisi suorittaa keinotekoisesti luotujen ruuhkamallien avulla. Tulevaisuudessa automaattisesti liikennettä mittaavien pisteiden sijoittelussa olisi syytä kiinnittää huomiota myös tiedon keruuseen ruuhkatilanteista, jolloin ruuhkan mallintamisen taustalla olisi enemmän mitattua tietoa.

8. LÄHDELUETTELO

- [1] J. Karjalainen ja M. Torkkeli, Raskaan kaluston massat ja mitat 6/2013. Saatavissa:
http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/23313/Hankekortti_massat+ja+mitat/3c1df8c3-c829-494e-9d29-ce36ea738707

- [2] Siltojen suunnittelussa käytetyt kuormat ja osavarmuusluvut, NCCI 1 Taustadokumentti 2015, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 12/2016, Liikennevirasto, Helsinki, 2016, 68 s. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2016-12_siltojen_suunnittelussa_web.pdf

- [3] Eurokoodin soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet -NCCI1, Liikenneviraston ohjeita 24/2014, Liikennevirasto, Helsinki, 2014, 111 s. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-24_ncci1_web.pdf

- [4] Siltojen kantavuuslaskentaohje, Liikenneviraston ohjeita 36/2015, Liikennevirasto, Helsinki, 2015, 61 s. Saatavissa:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2015-36_siltojen_kantavuuslaskentaohje_web.pdf

- [5] Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä, A 4.12.1992/1257, 1992, Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19921257>

- [6] Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä, A 6.6.2012/407, 2013, Saatavissa:
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19921257>

- [7] Erikoiskuljetukset, Elinkeiono-, liikenne- ja ympäristökeskus. Saatavissa:
<https://www.ely-keskus.fi/web/ely/erikoiskuljetukset>

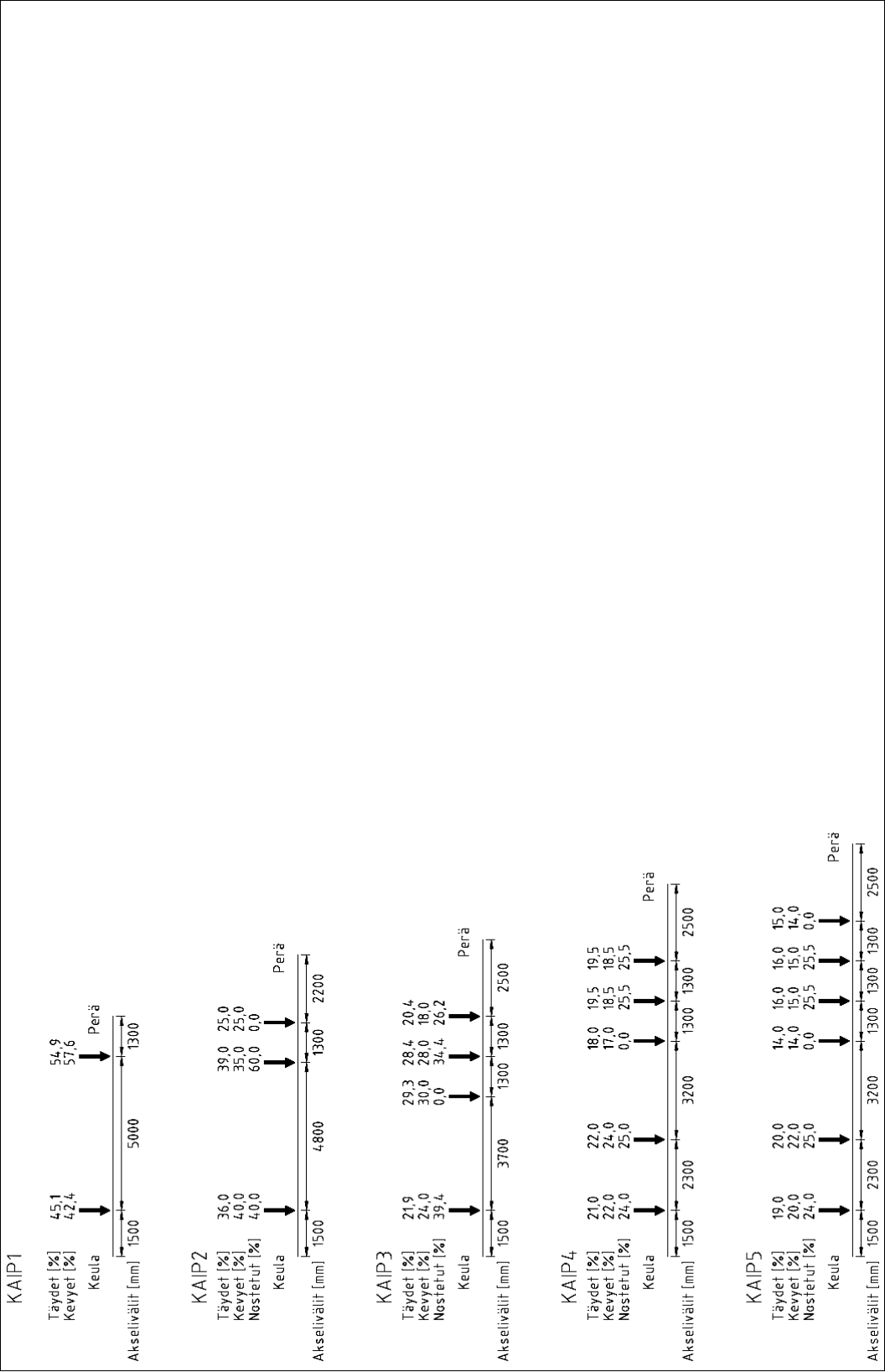
- [8] Reitistövaihtoehdot, Elinkeiono-, liikenne- ja ympäristökeskus. Saatavissa:
https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/124964/erikoiskuljetukset_valittavana_olevat_reitist%C3%B6t_20062013/1413e448-0577-4ec3-a9b3-7f92d659fb6b

- [9] Tomi Alho, Erikoiskuljetuslupatilastoja, SKAL Erikoiskuljetustyöryhmän kokous, Pirkanmaan ELY-keskus, 27.3.2015.

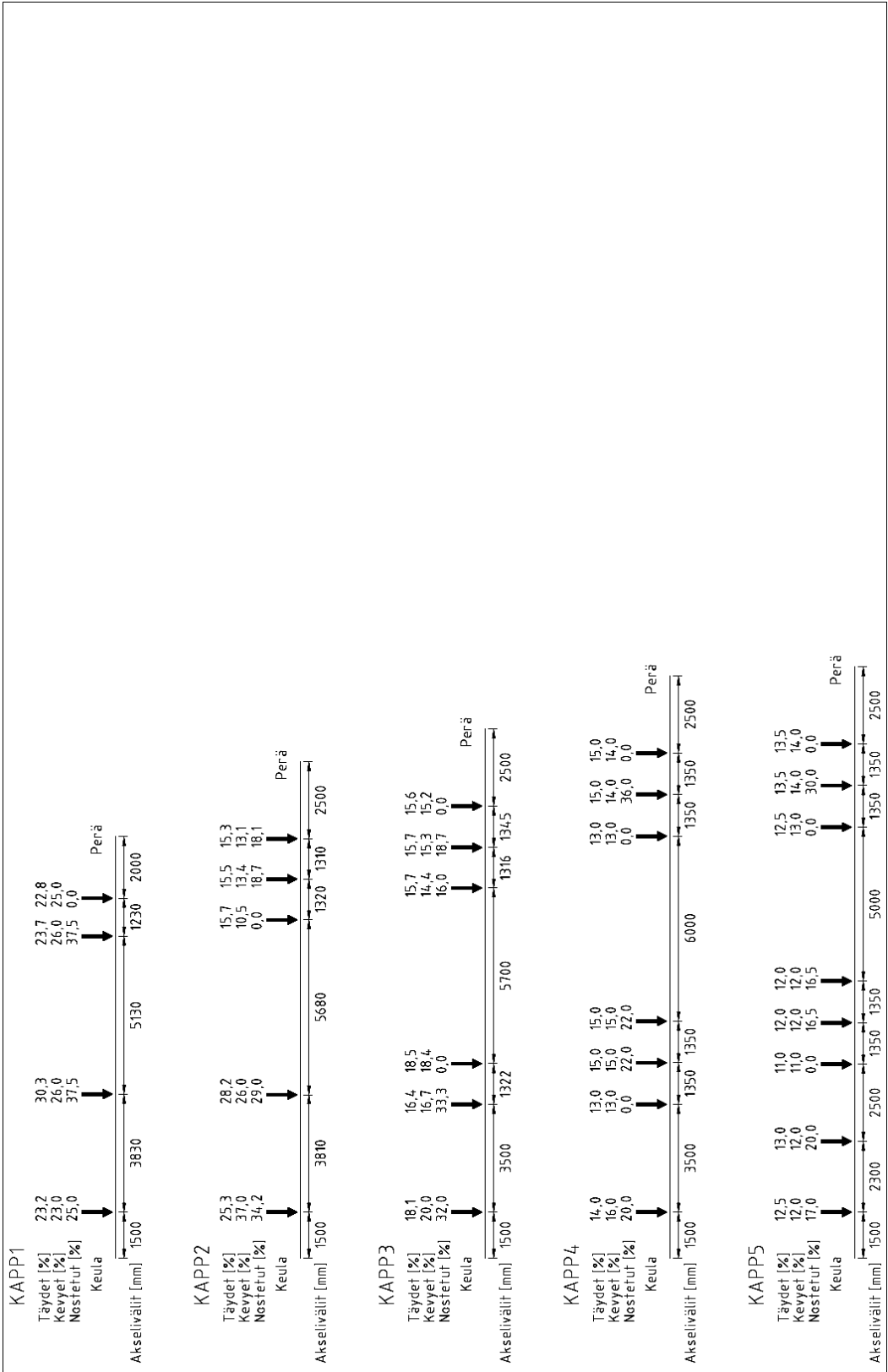
- [10] Siltojemme historia, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 2004, 525 s.
- [11] Rakenteiden kuormitusnormit (1969, 1970, 1971, 1974, 1975) 1978, Rakenteiden kuormitusnormien selityksiä (1970, 1975) 1978, RIL 59f, 79c, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 1978, 47/50 s.
- [12] Siltojen kuormat, Tielaitos, Tiehallinto, Helsinki, 1999, 31 s. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/skuoro00.pdf>
- [13] NA-SFS-EN 1991-2, Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-2, Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 2: Siltojen liikennekuormat, Liikenne- ja viestintäministeriö, 2010, 14 s.
- [14] SFS-EN 1991-2, Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 2: Siltojen liikennekuormat, Suomen standardoimisliitto SFS ry, Helsinki, 2004, 143 s.
- [15] Liikenneviraston sillat 1.1.2015, Liikenneviraston tilastoja 10/2015, Liikennevirasto, Helsinki 2015, 164 s. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lti_2015-10_liikenneviraston_sillat_web.pdf
- [16] Akselimassatutkimus 1998-1999, Tielaitos, tiestötiedot, Tielaitoksen selvityksiä 6/2000, Helsinki, 2000, 275s.
- [17] Akselimassatutkimus 2013 - 2014, Projektin loppuraportti, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 67/2015, Liikennevirasto, Helsinki, 2015, 74 s. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-67_akselimassatutkimus_web.pdf
- [18] S. Aalto, Liikenneteorian perusteet, Luentomateriaali, S-38.1145, Teknillinen korkeakoulu, 2008. Saatavissa: <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s381145/k08/luennot.shtml>
- [19] Luotettavuusanalyysin perusteita siltojen kantavuuden arvioinnissa, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä nro20/2014, Liikennevirasto, Helsinki, 2014, 110 s. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2014-20_luotettavuusanalyysin_perusteita_web.pdf
- [20] K. Ruohonen, Tilastomatematiikka, Tampereen teknillinen yliopisto, 2011, 87 s. Saatavissa: <http://math.tut.fi/~ruohonen/TM.pdf>
- [21] O. Lahti ja A. Tanttu, HCT-liikenteen kesäajan raportti 2015. Saatavissa: http://www.trafi.fi/filebank/a/1453359017/9994eb4fca6d9c1489cf8ec939fbe1e3/19562-HCT-ohjausryhman_kesaajan_raportti_120116.pdf

- [22] ENV 1991-3, Traffic loads on bridges, background and notes for guidance, 1994, 79 p. Saatavissa: <http://web.ist.utl.pt/guilherme.f.silva/EC/EC1%20-%20Actions%20on%20structures/BACK%20ENV1991-3%20an.pdf>

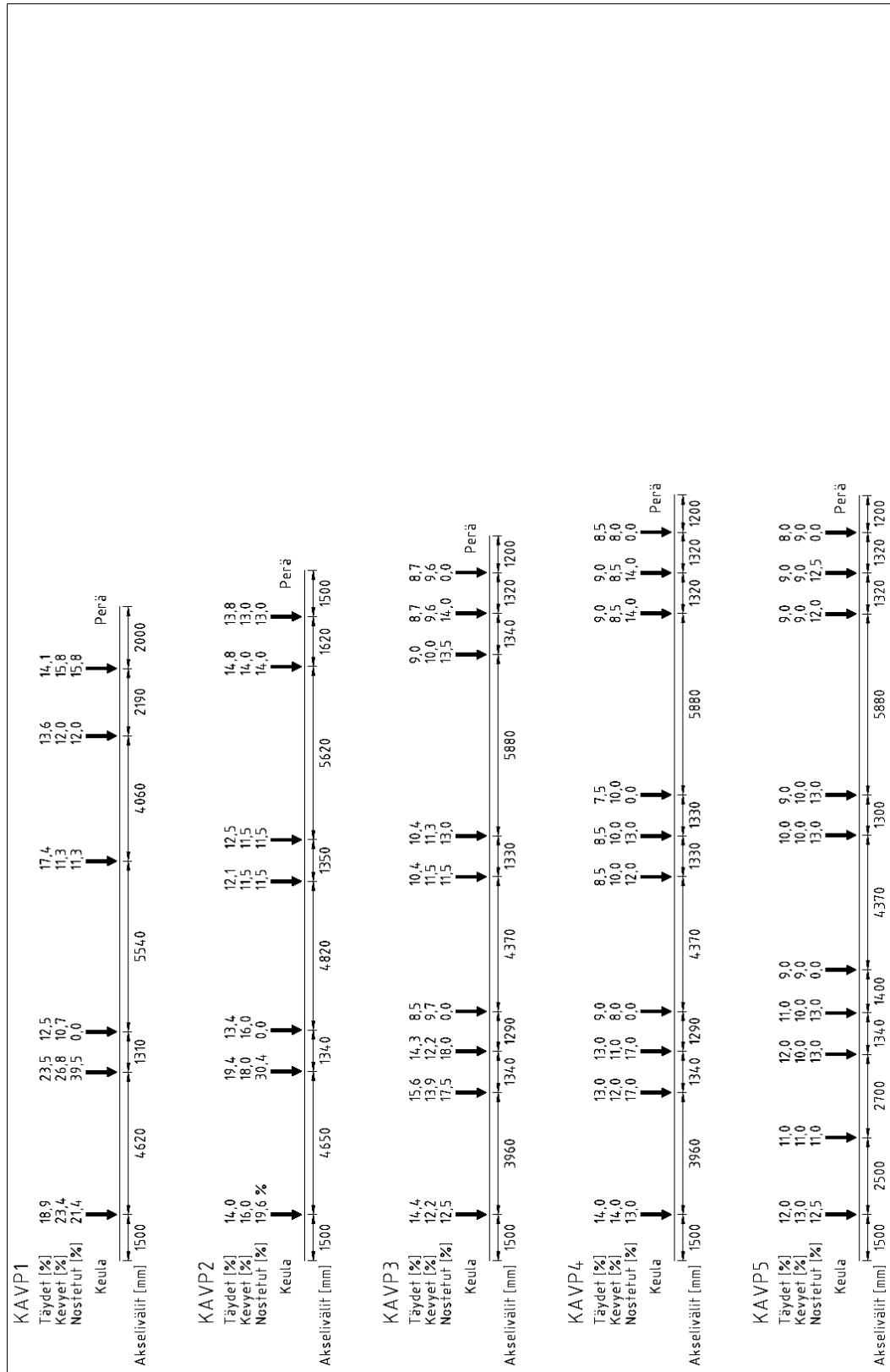
LIITE A: AJONEUVOJEN AKSELIKAAVIOT



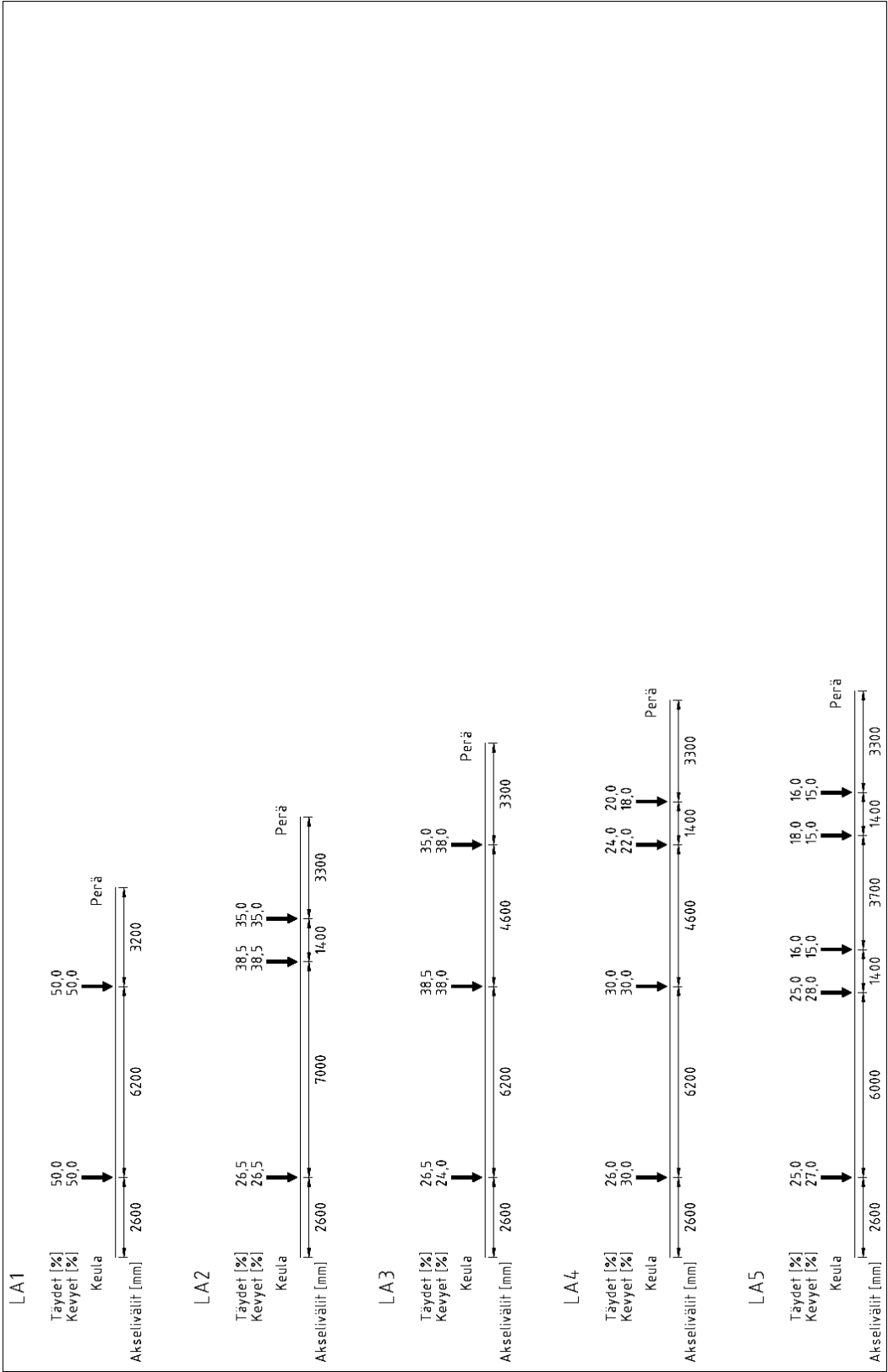
Kuva 27. Kuorma-autot ilman perävaunua, akselien sijainti ja kokonaismassan jakautuminen akseleille



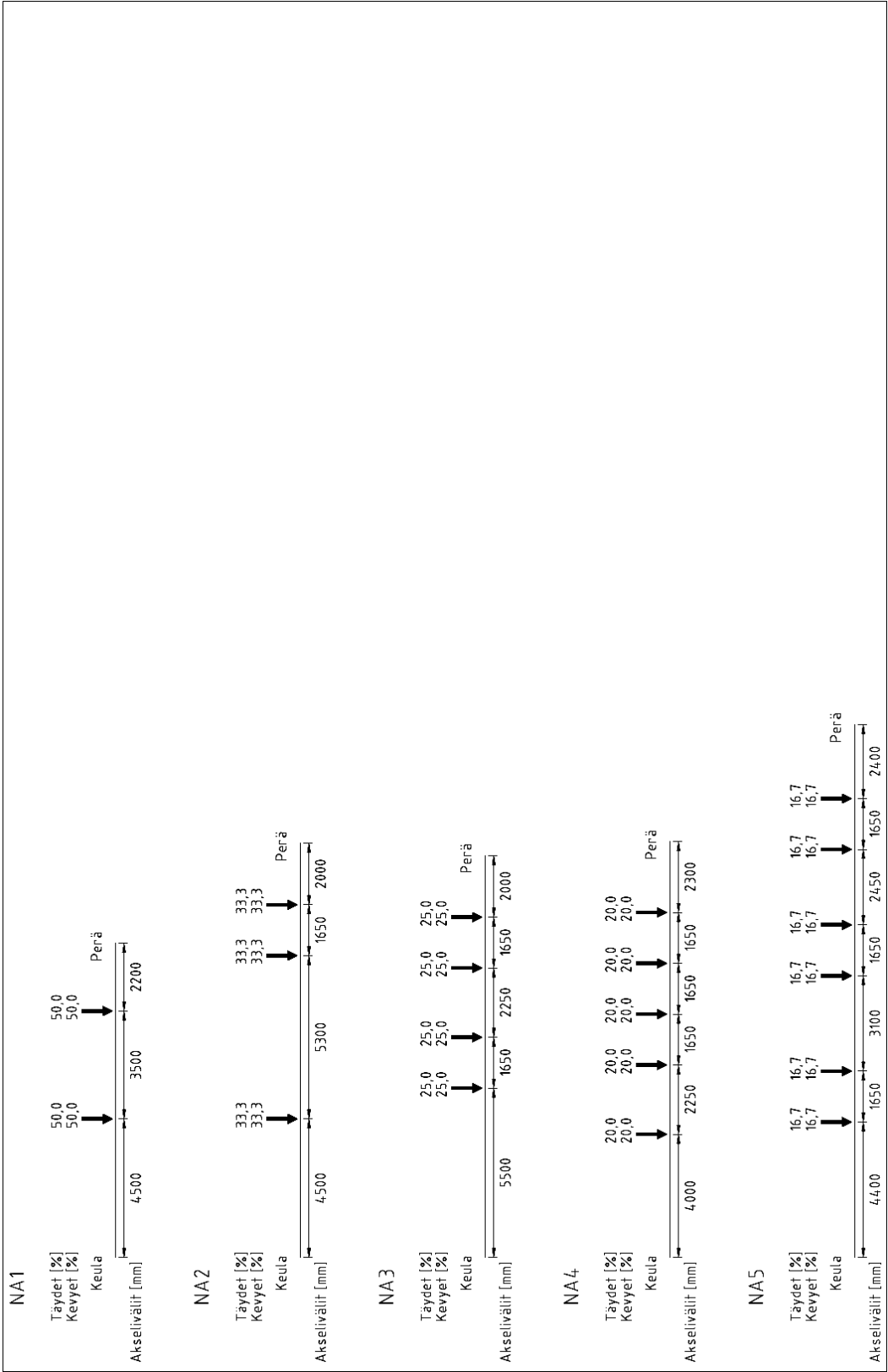
Kuva 28. Kuorma-autot puoliperävaunulla, akselien sijainti ja kokonaismassan jakautuminen akseleille



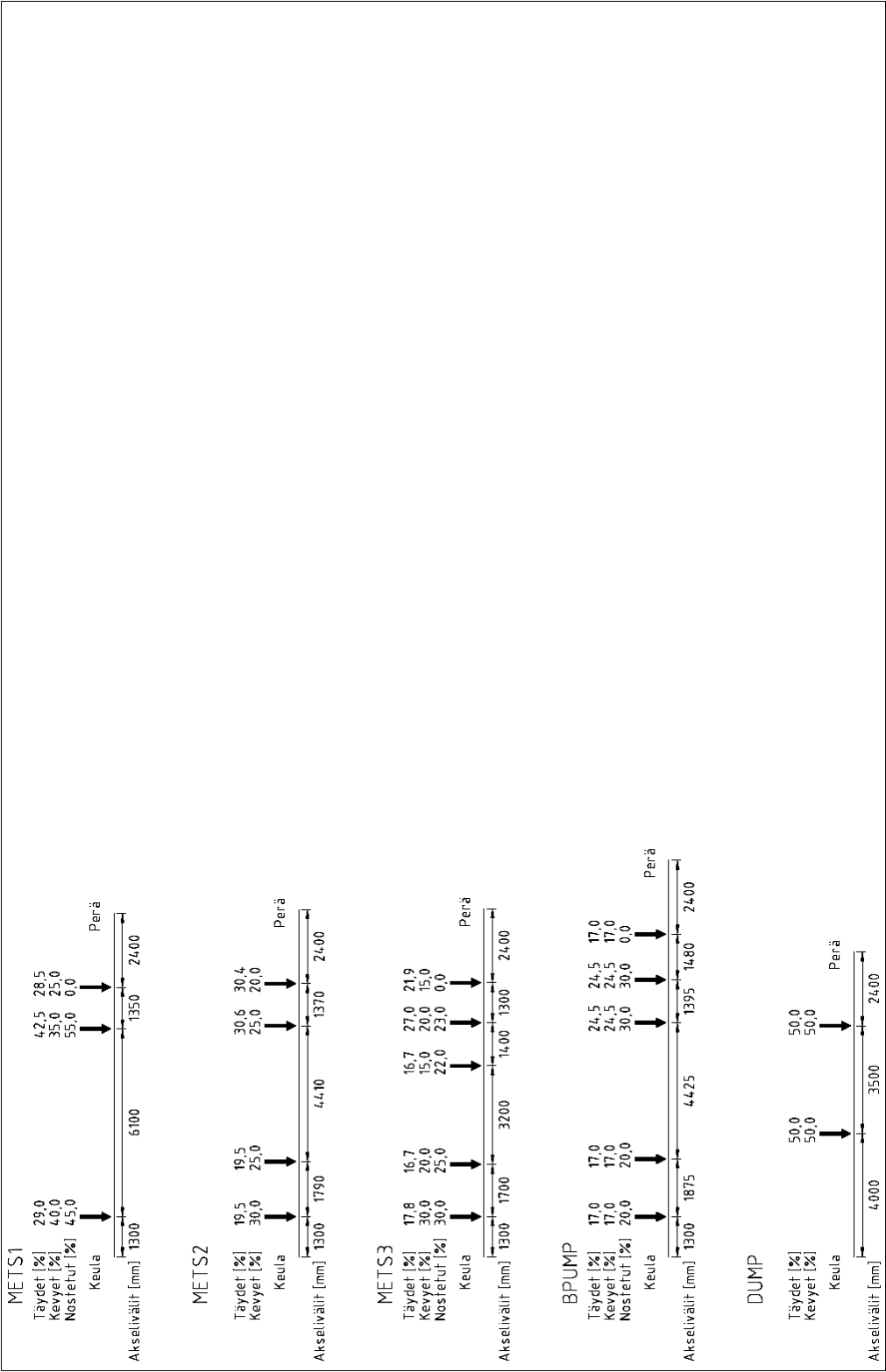
Kuva 29. Kuorma-autot varsinaisella perävaunulla, akselien sijainti ja kokonaismassan jakautuminen akseleille



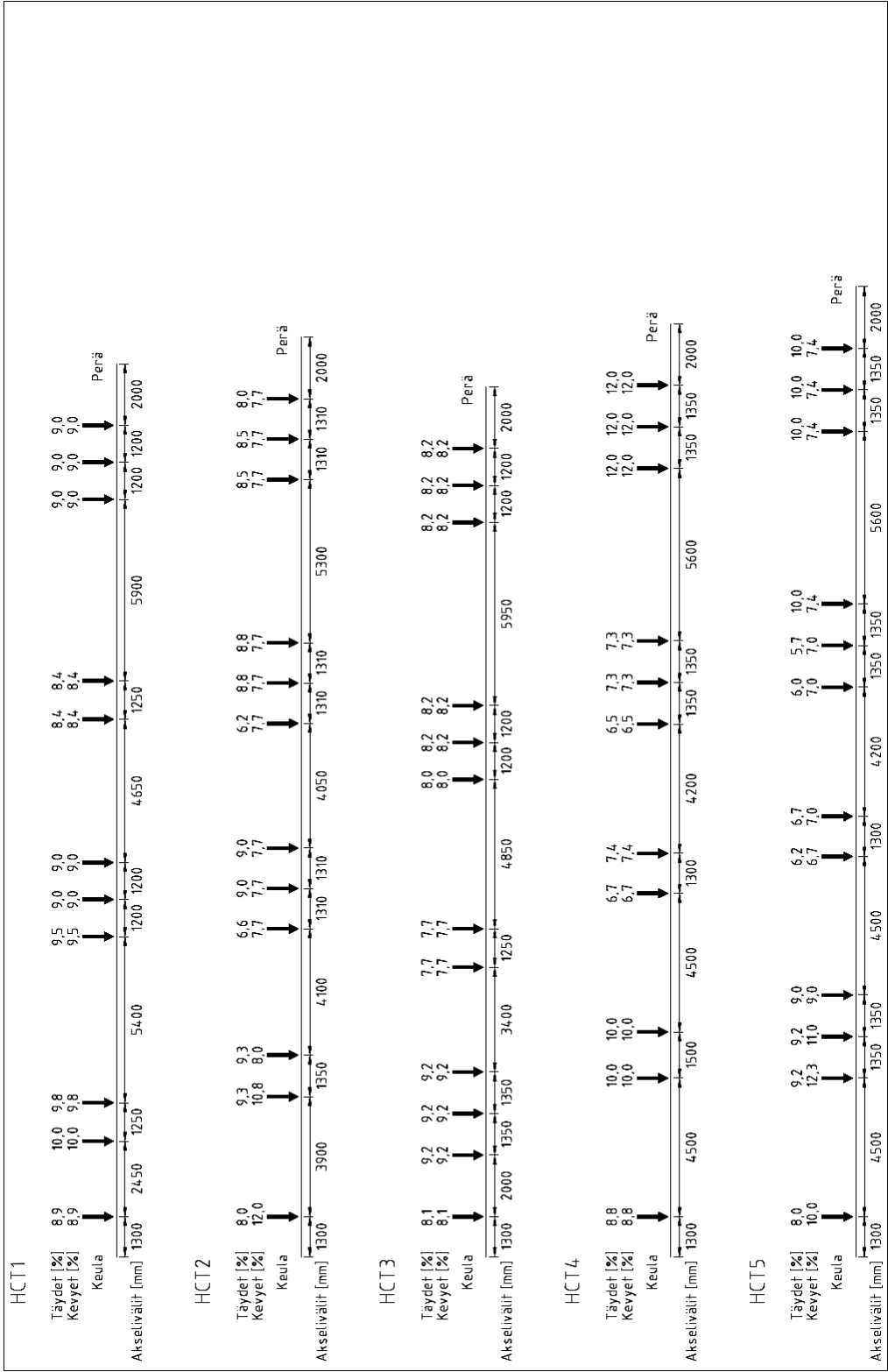
Kuva 30. Linja-autot, akselien sijainti ja kokonaismassan jakautuminen akseleille



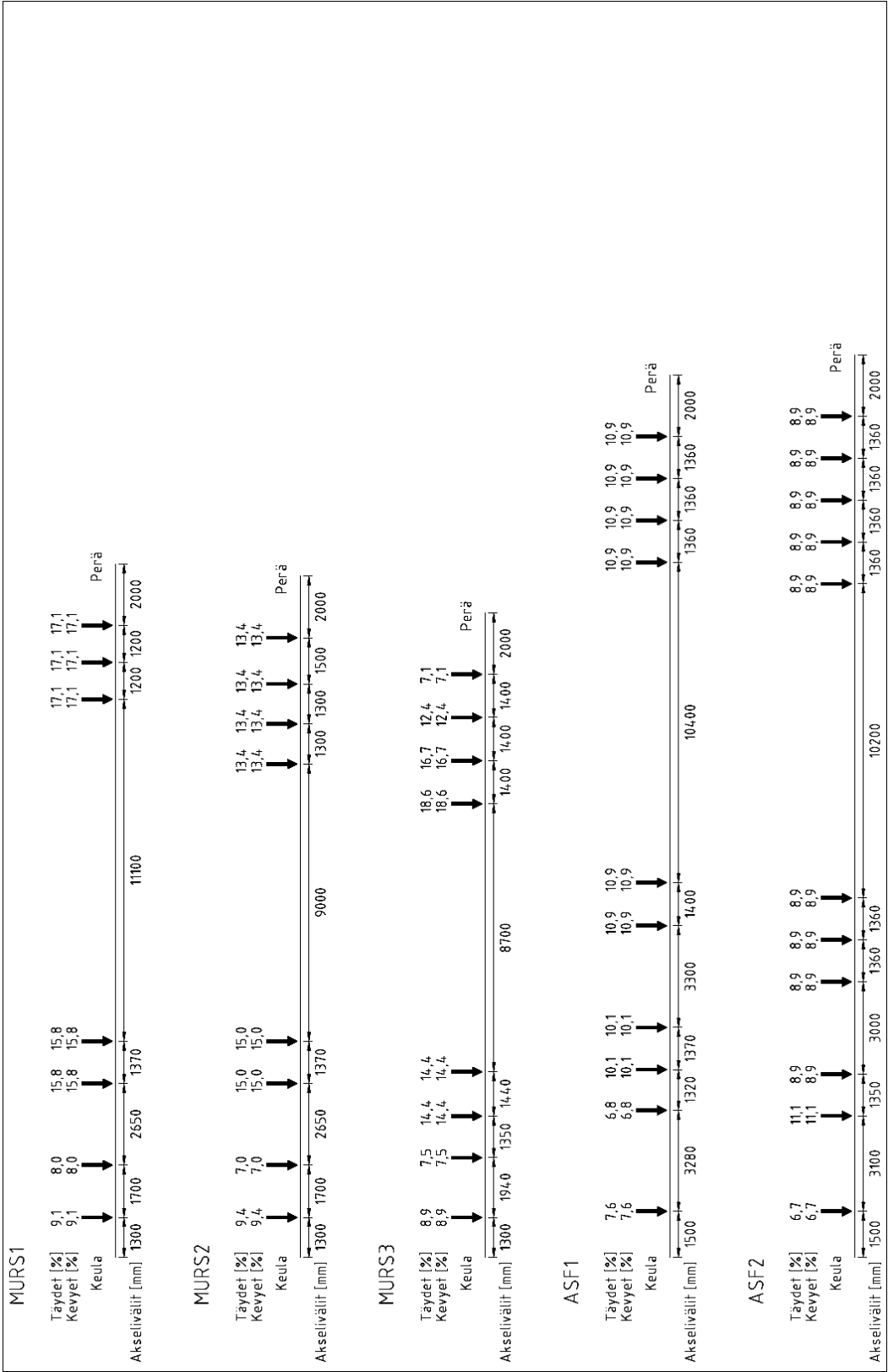
Kuva 31. Ajoneuvonosturit, akselien sijainti ja kokonaismassan jakautuminen akseleille



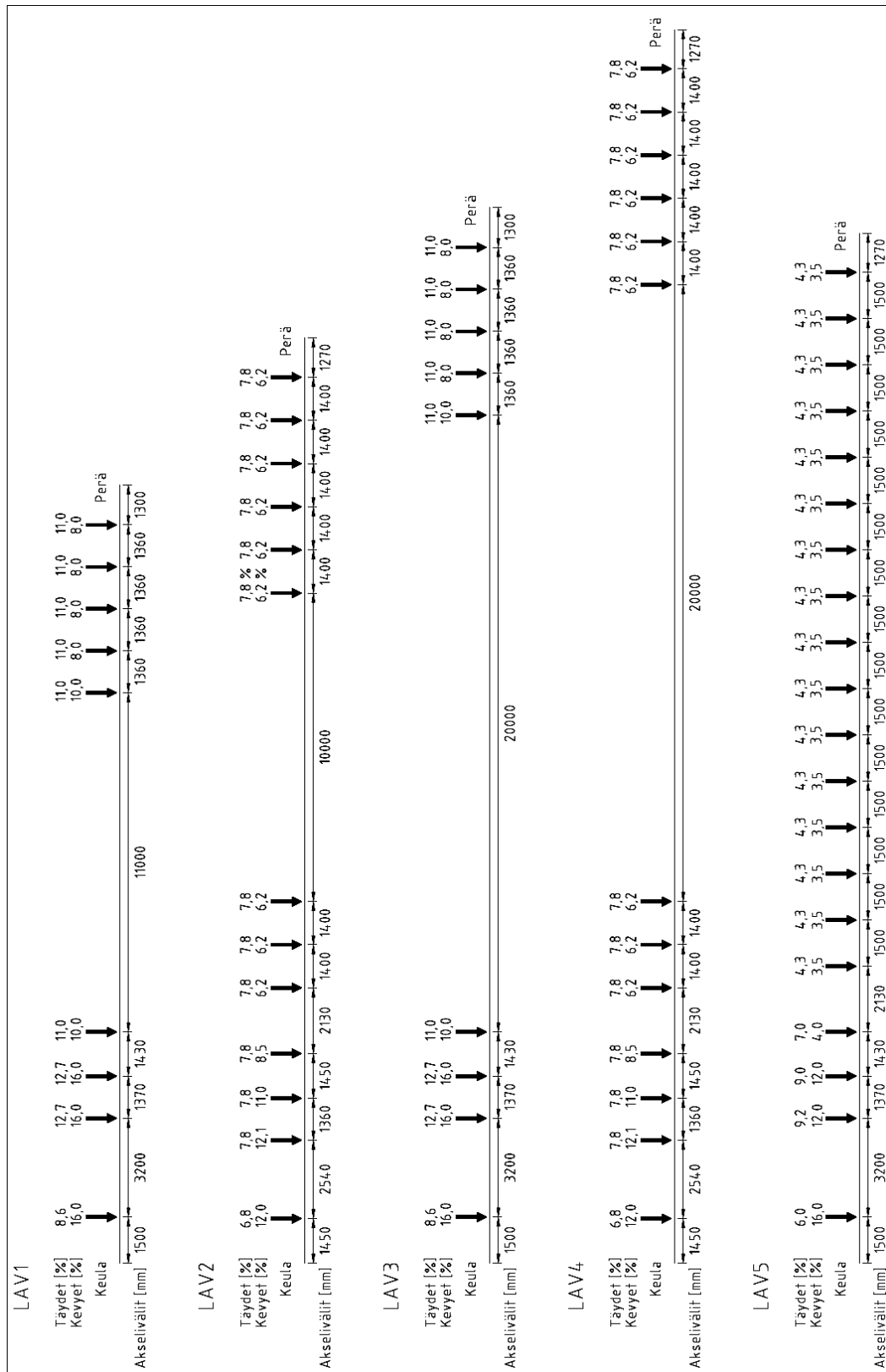
Kuva 32. Metsäkoneiden kuljetusajoneuvot, betonipumppuauto ja dumpperi, akselien sijainti ja kokonaismassan jakautuminen akselleille



Kuva 33. HCT-ajoneuvot, akselien sijainti ja kokonaismassan jakautuminen akseleille



Kuva 34. Murskainten ja asfalttijyrsinten kuljetusajoneuvot, akselien sijainti ja kokonaismassan jakautuminen aksleille



Kuva 35. Lavettiajoneuvot, akselien sijainti ja kokonaismassan jakautuminen akseleille

LIITE B: SUUNNITTELUKUORMIEN RASITUKSET JA SIMULOIDUT RASITUKSET

Taulukoissa 32, 33, 34, 35 ja 36 on esitetty jännemitoittain vertailtavista suunnittelukuormista aiheutuvat rasitukset käyttö- ja murtorajatilassa sekä 30 vuoden simulaatioista lasketut rasitusten vuosittaisten ääriarvojen jakaumien keskiarvo ja -hajonta liikenne- luokissa 1 ja 2. Suunnittelukuorman LM1/LM3 kohdalla taulukoista on korostettu ne solut, joissa kuormakaavio LM3 on aiheuttanut määräävän vaikutuksen.

Taulukko 32. Vertailukuormista aiheutuvat rasisukset sekä 30 vuoden liikennesimulaatioista lasketut rasisusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvot ja –hajonnat jännemitalla 10 metriä.

L=10 m		Keskimmäismomentti [MNm]			Tukimomentti [MNm]			Leikkausvoima reunatuella [MN]			Leikkausvoima välituella [MN]			Tukireaktio välituella [MN]		
		1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33
Käyttöraja	LM1 / LM3	-2,608	-2,192	-1,763	-1,347	1,651	1,627	1,627	1,627	1,168	0,981	0,788	0,661	1,238	1,041	0,839
	Lk1 / Ek1	-1,522	-1,522	-1,522	-1,522	1,539	1,539	1,539	1,539	0,757	0,757	0,757	0,757	0,805	0,791	0,791
	Ak1 / Ek1	-1,522	-1,522	-1,522	-1,522	1,539	1,539	1,539	1,539	0,757	0,757	0,757	0,757	0,791	0,791	0,791
	AA13	-1,223	-1,021	-0,813	-0,742	1,224	1,022	0,830	0,776	0,627	0,523	0,417	0,366	0,706	0,589	0,469
Murtorajatila	LM1 / LM3	-3,521	-2,959	-2,381	-1,819	2,229	2,197	2,197	2,197	1,576	1,324	1,064	0,893	1,671	1,405	1,132
	Lk1 / Ek1	-2,661	-2,222	-2,131	-2,131	2,394	2,154	2,154	2,154	1,314	1,097	1,060	1,060	1,450	1,210	1,107
	Ak1 / Ek1	-1,913	-1,826	-1,826	-1,826	1,847	1,847	1,847	1,847	0,908	0,908	0,908	0,908	0,949	0,949	0,949
	AA13	-1,590	-1,328	-1,072	-1,003	1,591	1,328	1,144	1,058	0,815	0,681	0,542	0,492	0,917	0,766	0,610
Norm. Liik.	μ	-1,306	-1,183	-1,156	-1,150	1,180	1,010	0,912	0,889	0,602	0,534	0,527	0,526	0,698	0,589	0,537
	σ	0,070	0,053	0,052	0,053	0,073	0,059	0,069	0,077	0,027	0,017	0,022	0,022	0,029	0,018	0,029
	μ	-1,164	-1,081	-1,071	-1,069	0,996	0,871	0,862	0,862	0,548	0,511	0,509	0,509	0,632	0,528	0,523
	σ	0,100	0,044	0,044	0,044	0,048	0,032	0,035	0,035	0,029	0,042	0,039	0,039	0,042	0,030	0,031
NA	μ	-1,286	-1,253	-1,239	-1,231	1,062	0,991	0,954	0,944	0,596	0,580	0,573	0,571	0,736	0,721	0,712
	σ	0,162	0,147	0,134	0,126	0,125	0,110	0,114	0,117	0,068	0,066	0,066	0,065	0,075	0,067	0,064
	μ	-1,091	-1,091	-1,091	-1,091	0,852	0,848	0,848	0,848	0,507	0,505	0,504	0,504	0,634	0,634	0,634
	σ	0,078	0,078	0,078	0,078	0,062	0,065	0,065	0,065	0,050	0,051	0,051	0,051	0,046	0,046	0,046
METS	μ	-0,975	-0,936	-0,922	-0,917	0,906	0,801	0,755	0,750	0,469	0,451	0,446	0,445	0,534	0,476	0,457
	σ	0,095	0,071	0,058	0,051	0,078	0,058	0,050	0,048	0,038	0,037	0,036	0,037	0,049	0,037	0,035
	μ	-0,949	-0,933	-0,929	-0,927	0,756	0,737	0,736	0,736	0,454	0,450	0,449	0,449	0,476	0,459	0,454
	σ	0,066	0,058	0,055	0,055	0,055	0,051	0,051	0,051	0,038	0,036	0,036	0,036	0,035	0,025	0,028
HCT	μ	-0,946	-0,849	-0,815	-0,813	1,008	0,886	0,825	0,812	0,458	0,406	0,385	0,381	0,557	0,476	0,443
	σ	0,089	0,054	0,032	0,030	0,067	0,051	0,031	0,032	0,037	0,030	0,020	0,019	0,035	0,026	0,017
	μ	-0,928	-0,877	-0,867	-0,867	0,967	0,882	0,861	0,860	0,440	0,407	0,400	0,400	0,527	0,472	0,464
	σ	0,074	0,043	0,042	0,042	0,076	0,037	0,029	0,029	0,043	0,023	0,020	0,020	0,032	0,016	0,019
MURS	μ	-1,204	-1,189	-1,183	-1,181	1,196	1,173	1,167	1,167	0,548	0,541	0,537	0,536	0,705	0,696	0,690
	σ	0,078	0,067	0,066	0,068	0,104	0,117	0,123	0,123	0,036	0,035	0,037	0,038	0,055	0,045	0,042
	μ	-1,108	-1,108	-1,108	-1,108	1,051	1,049	1,048	1,048	0,501	0,501	0,501	0,501	0,653	0,653	0,653
	σ	0,110	0,110	0,110	0,110	0,106	0,108	0,109	0,110	0,040	0,040	0,040	0,040	0,062	0,062	0,062
LAV	μ	-1,243	-1,196	-1,178	-1,178	1,037	0,924	0,862	0,845	0,573	0,558	0,557	0,557	0,699	0,660	0,649
	σ	0,090	0,065	0,065	0,065	0,087	0,070	0,047	0,044	0,028	0,027	0,029	0,029	0,055	0,037	0,031
	μ	-1,272	-1,258	-1,257	-1,257	0,976	0,919	0,908	0,905	0,602	0,599	0,598	0,598	0,692	0,678	0,672
	σ	0,052	0,050	0,051	0,051	0,065	0,048	0,047	0,048	0,030	0,024	0,021	0,021	0,048	0,035	0,033

Taulukko 33. Vertailukuormista aiheutuvat rasisukset sekä 30 vuoden liikennesimulaatioista lasketut rasisusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvot ja –hajonnat jännemitalla 20 metriä.

L=20 m		Kenttämomentti [MNm]				Tukimomentti [MNm]				Leikkausvoima reunatulla [MN]				Leikkausvoima välitulla [MN]				Tukireaktio välitulla [MN]				
		1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	
Käyttörajatila	LM1 / LM3	-6,365	-5,372	-5,178	-5,178	4,602	4,602	4,602	4,602	4,602	1,467	1,250	1,250	1,250	1,631	1,382	1,382	1,382	2,401	2,401	2,401	2,401
	Lk1 / Ek1	-4,253	-3,896	-3,896	-3,896	3,263	3,191	3,191	3,191	3,191	1,101	1,101	1,101	1,101	1,220	1,220	1,220	1,220	1,652	1,553	1,553	1,553
	AK1 / EK1	-3,896	-3,896	-3,896	-3,896	3,191	3,191	3,191	3,191	3,191	1,101	1,101	1,101	1,101	1,220	1,220	1,220	1,220	1,553	1,553	1,553	1,553
	AA13	-3,547	-2,962	-2,462	-2,291	2,872	2,553	2,325	2,105	1,007	0,841	0,670	0,615	1,143	0,955	0,778	0,727	1,700	1,419	1,298	1,187	
Murtorajatila	LM1 / LM3	-8,593	-7,252	-6,990	-6,990	6,212	6,212	6,212	6,212	1,981	1,688	1,688	1,688	2,202	1,866	1,866	1,866	3,241	3,241	3,241	3,241	
	Lk1 / Ek1	-7,655	-6,392	-5,454	-5,454	5,874	4,905	4,467	6,054	1,896	1,583	1,542	1,542	2,157	1,801	1,708	1,708	2,973	2,482	2,175	2,175	
	AK1 / EK1	-4,904	-4,675	-4,675	-4,675	4,307	3,829	3,829	3,829	1,322	1,322	1,322	1,322	1,464	1,464	1,464	1,464	2,192	1,864	1,864	1,864	
	AA13	-4,611	-3,850	-3,407	-3,134	4,007	3,654	3,290	2,937	1,309	1,093	0,892	0,833	1,486	1,241	1,073	0,991	2,209	2,005	1,822	1,644	
Norm. Liik.	Luokka1	μ	-3,782	-3,235	-2,944	-2,888	3,107	2,578	2,248	2,201	0,838	0,705	0,641	0,639	1,025	0,861	0,759	0,754	1,555	1,309	1,127	1,060
	σ		0,148	0,142	0,149	0,147	0,165	0,118	0,083	0,104	0,038	0,037	0,022	0,023	0,037	0,031	0,034	0,038	0,027	0,040	0,022	0,023
	Luokka2	μ	-3,103	-2,849	-2,813	-2,811	2,667	2,275	2,081	2,061	0,732	0,672	0,669	0,669	0,867	0,737	0,705	0,705	1,468	1,241	1,013	0,992
NA	σ		0,155	0,181	0,173	0,175	0,123	0,105	0,080	0,094	0,045	0,037	0,041	0,041	0,026	0,021	0,029	0,029	0,049	0,034	0,020	0,030
	Luokka1	μ	-3,669	-3,574	-3,533	-3,533	2,517	2,331	2,296	2,292	0,812	0,795	0,789	0,786	1,011	0,970	0,950	0,945	1,352	1,232	1,180	1,168
	σ		0,380	0,354	0,362	0,362	0,167	0,183	0,196	0,196	0,071	0,068	0,070	0,072	0,098	0,107	0,114	0,116	0,123	0,114	0,114	0,119
METs	Luokka2	μ	-3,276	-3,265	-3,260	-3,260	2,054	1,993	1,976	1,976	0,724	0,716	0,715	0,714	0,846	0,844	0,844	0,844	1,048	1,021	1,013	1,013
	σ		0,314	0,321	0,328	0,328	0,265	0,242	0,242	0,242	0,075	0,077	0,078	0,078	0,098	0,098	0,098	0,098	0,106	0,092	0,091	0,091
	Luokka1	μ	-2,977	-2,705	-2,601	-2,588	2,322	1,982	1,820	1,799	0,659	0,580	0,554	0,554	0,788	0,691	0,652	0,643	1,193	0,996	0,873	0,854
HCT	σ		0,283	0,192	0,163	0,163	0,173	0,176	0,186	0,188	0,056	0,034	0,032	0,032	0,064	0,050	0,039	0,042	0,089	0,068	0,045	0,045
	Luokka2	μ	-2,603	-2,574	-2,563	-2,562	1,779	1,648	1,606	1,592	0,564	0,552	0,549	0,548	0,649	0,629	0,624	0,622	0,909	0,837	0,822	0,814
	σ		0,197	0,163	0,163	0,163	0,228	0,181	0,148	0,145	0,047	0,039	0,036	0,036	0,063	0,046	0,037	0,036	0,126	0,089	0,055	0,042
MURS	Luokka1	μ	-2,780	-2,415	-2,267	-2,250	2,908	2,624	2,477	2,451	0,688	0,614	0,585	0,574	0,857	0,743	0,689	0,676	1,494	1,301	1,170	1,135
	σ		0,220	0,134	0,099	0,094	0,258	0,195	0,138	0,123	0,065	0,061	0,044	0,033	0,069	0,056	0,028	0,027	0,107	0,096	0,071	0,055
	Luokka2	μ	-2,667	-2,465	-2,387	-2,378	2,774	2,637	2,580	2,566	0,647	0,592	0,586	0,587	0,783	0,719	0,703	0,702	1,401	1,262	1,205	1,191
LAV	σ		0,267	0,143	0,103	0,093	0,230	0,143	0,107	0,112	0,045	0,024	0,025	0,024	0,074	0,032	0,027	0,028	0,135	0,090	0,051	0,041
	Luokka1	μ	-3,387	-3,313	-3,273	-3,246	3,459	3,398	3,345	3,325	0,785	0,764	0,760	0,760	0,895	0,864	0,849	0,843	1,515	1,457	1,431	1,417
	σ		0,449	0,393	0,366	0,363	0,250	0,211	0,219	0,221	0,068	0,057	0,056	0,057	0,107	0,088	0,081	0,079	0,143	0,116	0,105	0,109
LAV	Luokka2	μ	-3,070	-3,052	-3,050	-3,050	3,162	3,161	3,160	3,159	0,704	0,696	0,694	0,693	0,808	0,808	0,808	0,808	1,333	1,330	1,330	1,330
	σ		0,304	0,273	0,270	0,270	0,291	0,291	0,290	0,289	0,068	0,056	0,054	0,054	0,062	0,062	0,062	0,062	0,083	0,082	0,082	0,082
	Luokka1	μ	-3,288	-3,008	-2,891	-2,877	3,230	3,020	2,923	2,899	0,745	0,687	0,673	0,673	0,910	0,820	0,790	0,788	1,532	1,403	1,354	1,339
LAV	σ		0,227	0,186	0,166	0,161	0,239	0,160	0,127	0,134	0,056	0,031	0,033	0,032	0,069	0,047	0,039	0,039	0,118	0,088	0,076	0,075
	Luokka2	μ	-3,233	-3,082	-3,044	-3,043	3,258	3,165	3,130	3,128	0,751	0,726	0,717	0,717	0,902	0,854	0,840	0,839	1,498	1,446	1,432	1,430
	σ		0,229	0,126	0,117	0,118	0,211	0,145	0,142	0,141	0,067	0,035	0,028	0,028	0,060	0,041	0,044	0,044	0,091	0,061	0,063	0,061

Taulukko 35. Vertailukuormista aiheutuvat rasisukset sekä 30 vuoden liikennesimulaatioista lasketut rasisusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvot ja –hajonnat jännemitalla 50 metriä.

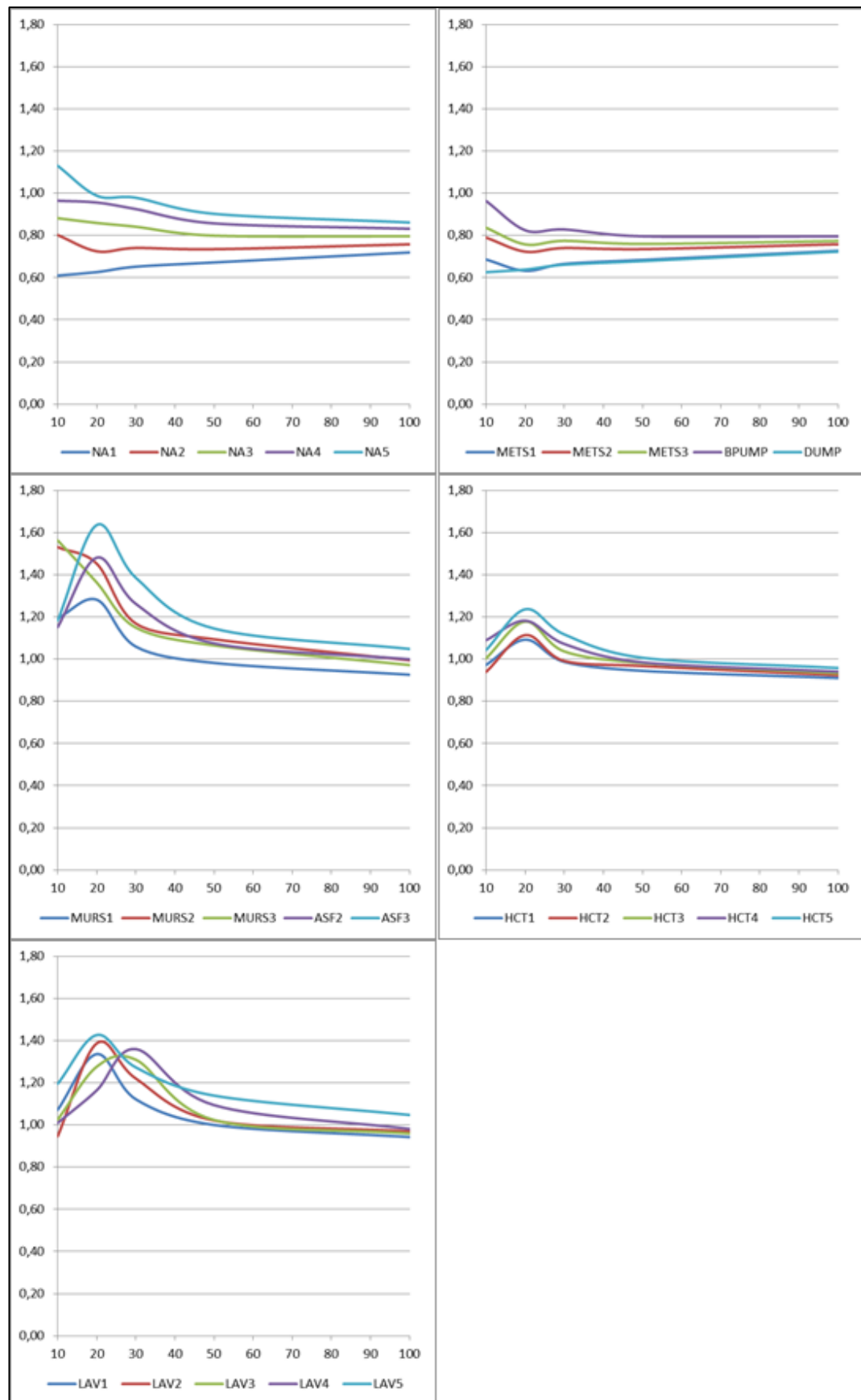
L=50 m		Keskittämömentti [MNm]			Tukimomentti [MNm]			Leikkausvoima reunatuella [MN]			Leikkausvoima välituella [MN]			Tukireaktio välituella [MN]		
		1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33
Käyttöraja	LM1 / LM3	-22,868	-21,538	-21,538	-21,538	19,805	17,000	14,111	12,207	2,122	2,069	2,069	2,069	2,470	2,270	2,270
	Lk1 / Ek1	-15,576	-13,948	-13,948	-13,948	11,650	9,728	7,762	7,762	1,490	1,463	1,463	1,463	1,682	1,511	1,511
	Ak1 / Ek1	-13,948	-13,948	-13,948	-13,948	10,813	9,029	7,762	7,762	1,463	1,463	1,463	1,463	1,511	1,511	1,511
	AA13	-13,038	-11,915	-10,817	-9,750	12,167	10,777	9,345	7,955	1,265	1,103	1,007	0,914	1,486	1,355	1,221
Murtorajatila	LM1 / LM3	-30,872	-29,076	-29,076	-29,076	26,737	22,951	19,050	16,479	2,864	2,793	2,793	2,793	3,335	3,064	3,064
	Lk1 / Ek1	-28,037	-23,411	-19,528	-19,528	20,970	17,510	13,945	10,867	2,681	2,239	2,049	2,049	3,028	2,528	2,115
	Ak1 / Ek1	-16,738	-16,738	-16,738	-16,738	16,220	13,544	10,786	9,315	1,756	1,756	1,756	1,756	1,824	1,813	1,813
	AA13	-18,815	-17,109	-15,351	-13,645	18,345	16,121	13,829	11,605	1,724	1,575	1,422	1,273	2,168	1,960	1,745
Norm. Liik.	μ	-14,575	-12,267	-10,398	-10,048	12,898	11,098	9,928	9,547	1,306	1,103	0,931	0,895	1,579	1,345	1,163
	σ	0,274	0,230	0,314	0,222	0,624	0,458	0,418	0,494	0,082	0,061	0,061	0,045	0,065	0,062	0,060
	μ	-12,474	-10,577	-9,674	-9,603	9,099	8,356	8,248	8,248	1,098	0,914	0,842	0,842	1,332	1,131	1,031
	σ	0,767	0,591	0,312	0,350	0,473	0,466	0,427	0,427	0,064	0,057	0,036	0,037	0,039	0,036	0,035
NA	μ	-12,305	-11,338	-11,060	-11,044	8,862	8,000	7,677	7,543	1,103	1,024	0,988	0,985	1,300	1,194	1,136
	σ	1,072	1,220	1,270	1,257	0,840	0,624	0,452	0,423	0,097	0,094	0,111	0,113	0,108	0,086	0,104
	μ	-10,163	-10,067	-10,025	-10,025	6,527	6,318	6,179	6,116	0,908	0,898	0,892	0,892	1,013	1,000	0,997
	σ	1,090	1,028	1,038	1,038	0,931	0,783	0,736	0,724	0,108	0,101	0,103	0,103	0,131	0,125	0,123
METS	μ	-10,973	-9,239	-8,160	-8,071	8,492	7,546	7,074	6,966	0,982	0,824	0,727	0,712	1,164	0,989	0,903
	σ	0,937	0,707	0,411	0,426	0,823	0,701	0,797	0,843	0,076	0,060	0,052	0,052	0,097	0,082	0,069
	μ	-8,323	-8,047	-7,944	-7,910	6,288	6,018	5,963	5,929	0,737	0,686	0,675	0,675	0,914	0,838	0,816
	σ	1,058	0,747	0,565	0,565	0,809	0,807	0,804	0,825	0,088	0,051	0,035	0,036	0,156	0,107	0,072
HCT	μ	-13,253	-11,770	-10,863	-10,639	9,959	9,257	8,869	8,647	1,156	1,044	0,999	0,994	1,451	1,286	1,170
	σ	1,151	0,913	0,649	0,495	0,908	0,729	0,639	0,698	0,083	0,057	0,052	0,053	0,098	0,070	0,054
	μ	-12,482	-11,468	-11,196	-11,183	9,034	8,586	8,455	8,406	1,115	1,068	1,061	1,061	1,359	1,251	1,214
	σ	1,069	0,615	0,409	0,425	0,627	0,714	0,723	0,724	0,075	0,044	0,044	0,044	0,139	0,084	0,045
MURS	μ	-13,613	-13,008	-12,701	-12,668	9,880	9,376	9,116	8,977	1,232	1,194	1,178	1,176	1,532	1,475	1,450
	σ	1,184	0,755	0,663	0,652	0,969	0,977	0,983	1,002	0,118	0,095	0,089	0,089	0,142	0,118	0,109
	μ	-12,352	-12,331	-12,314	-12,299	7,943	7,879	7,853	7,842	1,133	1,129	1,126	1,122	1,383	1,376	1,370
	σ	0,900	0,840	0,786	0,749	0,613	0,611	0,612	0,614	0,165	0,151	0,139	0,127	0,127	0,117	0,118
LAV	μ	-13,861	-12,950	-12,642	-12,511	10,237	9,322	8,955	8,912	1,249	1,125	1,075	1,068	1,525	1,438	1,400
	σ	1,200	0,955	0,746	0,684	0,974	0,668	0,589	0,599	0,110	0,065	0,049	0,044	0,108	0,081	0,066
	μ	-13,817	-13,642	-13,624	-13,623	9,732	9,157	8,997	8,978	1,213	1,140	1,122	1,119	1,532	1,504	1,497
	σ	0,705	0,614	0,619	0,619	0,844	0,688	0,611	0,610	0,119	0,065	0,040	0,040	0,108	0,078	0,077

Taulukko 36. Vertailukuormista aiheutuvat rasisukset sekä 30 vuoden liikennesimulaatioista lasketut rasisusten vuosittaisten ääriarvojen keskiarvot ja –hajonnat jännemitalla 100 metriä.

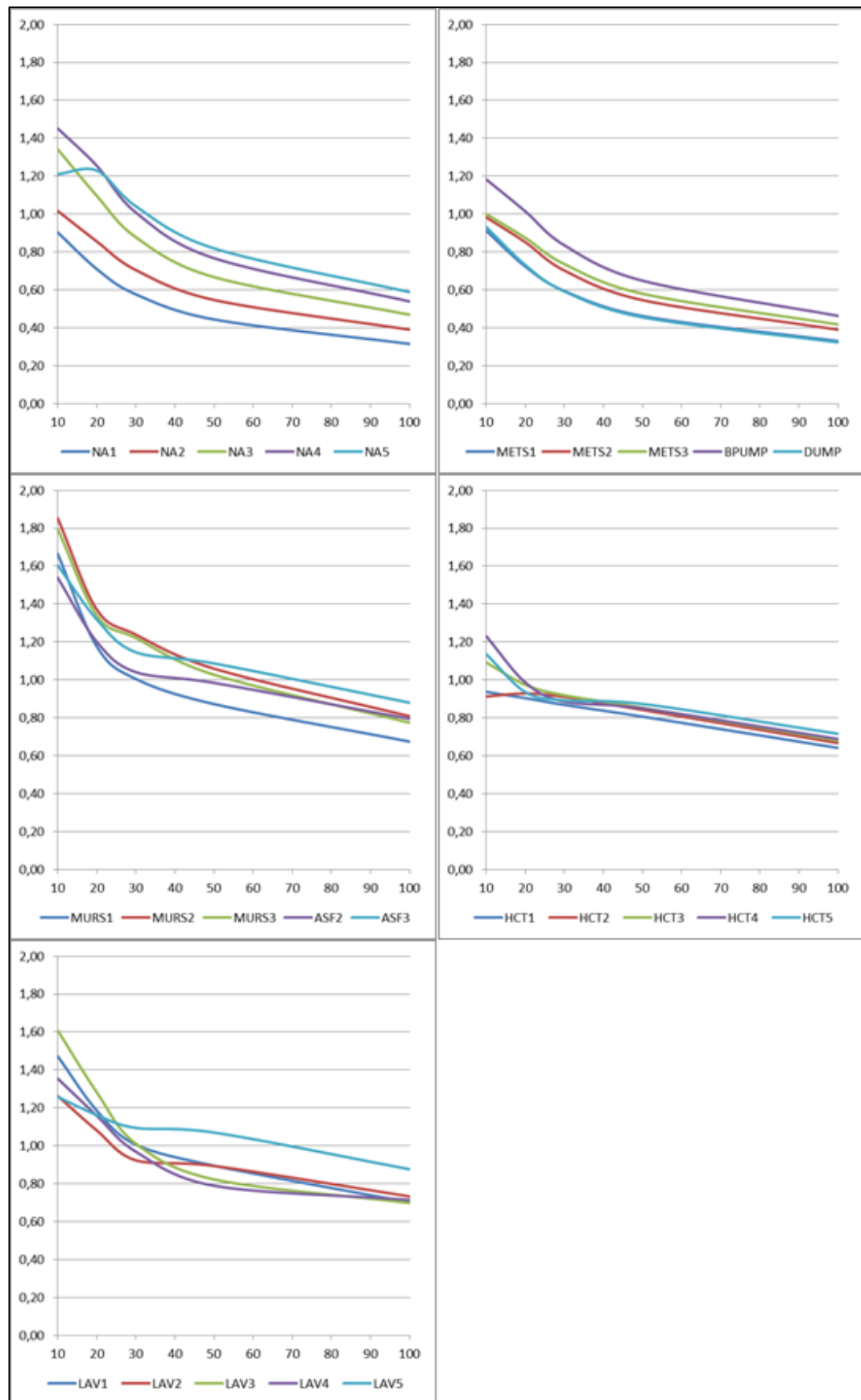
L=100 m		Keskittämömentti [MNm]			Tukimomentti [MNm]			Leikkausvoima reunatuella [MN]			Leikkausvoima välituella [MN]			Tukireaktio välituella [MN]		
		1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33	0	1	0,67	0,33
Käyttöraja-tila	LM1 / LM3	-67,607	-57,873	-49,394	-49,394	67,771	58,445	48,835	39,509	3,115	2,664	2,381	2,381	3,901	3,347	2,776
	Lk1 / Ek1	-41,547	-34,692	-31,241	-31,241	34,544	28,844	22,972	17,272	1,956	1,633	1,571	1,571	2,302	1,922	1,604
	Ak1 / Ek1	-31,241	-31,241	-31,241	-31,241	33,760	28,189	22,450	16,880	1,571	1,571	1,571	1,571	1,838	1,604	1,604
	AA13	-40,986	-36,722	-32,329	-28,065	41,640	36,074	30,338	24,771	1,887	1,697	1,501	1,310	2,409	2,139	1,862
Murtorajatila	LM1 / LM3	-91,270	-78,129	-66,682	-66,682	91,491	78,900	65,928	53,337	4,205	3,597	3,214	3,214	5,262	4,518	3,748
	Lk1 / Ek1	-74,785	-62,446	-49,732	-43,737	62,179	51,919	41,349	31,089	3,521	2,940	2,342	2,199	4,143	3,459	2,755
	Ak1 / Ek1	-46,650	-38,952	-37,489	-37,489	50,640	42,284	33,675	25,320	2,120	1,885	1,885	1,885	2,756	2,302	1,925
	AA13	-61,034	-54,212	-47,183	-40,360	64,254	55,347	46,170	37,264	2,800	2,495	2,181	1,876	3,621	3,190	2,746
Norm. Liik.	Luokka1	-39,263	-33,637	-30,885	-30,544	31,515	27,318	25,629	25,396	1,777	1,497	1,353	1,343	2,243	1,943	1,806
	σ	2,103	1,516	1,207	1,303	1,177	1,399	0,973	1,161	0,067	0,053	0,072	0,064	0,109	0,109	0,066
	Luokka2	-30,696	-26,586	-26,263	-26,042	22,224	19,937	19,869	19,869	1,373	1,203	1,192	1,193	1,681	1,521	1,507
	σ	1,656	1,343	1,031	1,148	0,409	1,054	1,076	1,076	0,074	0,054	0,067	0,065	0,059	0,076	0,079
NA	Luokka1	-29,127	-27,019	-26,396	-26,214	23,306	20,295	18,982	18,347	1,291	1,161	1,109	1,096	1,599	1,454	1,437
	σ	2,902	2,667	2,591	2,515	2,669	2,637	2,415	2,464	0,142	0,123	0,121	0,114	0,134	0,168	0,173
	Luokka2	-22,578	-22,268	-22,244	-22,244	15,044	14,132	13,778	13,584	0,990	0,950	0,942	0,939	1,149	1,108	1,092
	σ	2,855	2,730	2,736	2,736	2,200	1,682	1,487	1,507	0,145	0,137	0,137	0,139	0,142	0,131	0,129
METS	Luokka1	-26,540	-23,242	-22,111	-21,992	21,812	19,469	18,282	17,866	1,267	1,089	0,999	0,987	1,515	1,366	1,314
	σ	2,426	1,704	1,673	1,723	1,963	1,926	2,141	2,259	0,163	0,117	0,088	0,086	0,191	0,171	0,167
	Luokka2	-21,069	-19,072	-18,493	-18,451	14,769	13,620	13,429	13,418	0,929	0,832	0,819	0,818	1,067	1,020	1,017
	σ	2,811	2,461	2,518	2,509	1,623	1,538	1,632	1,643	0,106	0,121	0,121	0,122	0,154	0,167	0,167
HCT	Luokka1	-32,806	-29,440	-27,950	-27,853	25,363	22,975	21,621	21,014	1,484	1,309	1,237	1,229	1,820	1,667	1,607
	σ	2,470	1,864	1,468	1,371	2,704	2,320	2,105	1,900	0,091	0,069	0,062	0,061	0,151	0,121	0,097
	Luokka2	-30,363	-28,693	-28,251	-28,251	21,567	20,548	20,457	20,412	1,386	1,329	1,312	1,312	1,639	1,552	1,534
	σ	2,226	1,054	1,205	1,205	1,719	1,680	1,678	1,720	0,102	0,065	0,065	0,065	0,117	0,096	0,093
MURS	Luokka1	-34,768	-33,921	-33,487	-33,352	24,164	22,474	21,590	21,243	1,560	1,487	1,462	1,454	1,766	1,707	1,675
	σ	3,163	2,501	2,263	2,287	2,486	2,467	2,574	2,753	0,165	0,106	0,093	0,093	0,168	0,143	0,140
	Luokka2	-31,899	-31,709	-31,639	-31,639	18,873	18,579	18,430	18,376	1,412	1,406	1,402	1,398	1,586	1,583	1,581
	σ	2,866	2,513	2,454	2,454	2,116	1,789	1,643	1,610	0,143	0,132	0,123	0,116	0,130	0,130	0,131
LAV	Luokka1	-36,013	-33,630	-32,648	-32,244	26,733	23,941	22,507	22,149	1,593	1,445	1,378	1,367	2,016	1,833	1,724
	σ	2,697	2,198	1,993	2,015	1,795	1,760	1,686	1,461	0,102	0,104	0,103	0,097	0,185	0,138	0,112
	Luokka2	-34,736	-34,005	-33,689	-33,697	22,747	21,860	21,654	21,598	1,487	1,434	1,421	1,419	1,810	1,756	1,738
	σ	2,232	1,464	1,351	1,356	1,577	1,577	1,655	1,708	0,081	0,058	0,055	0,058	0,134	0,091	0,084

LIITE C: ERIKOISKULJETUSAJONEUVOJEN VASTAAVUUS- VERTAILUT

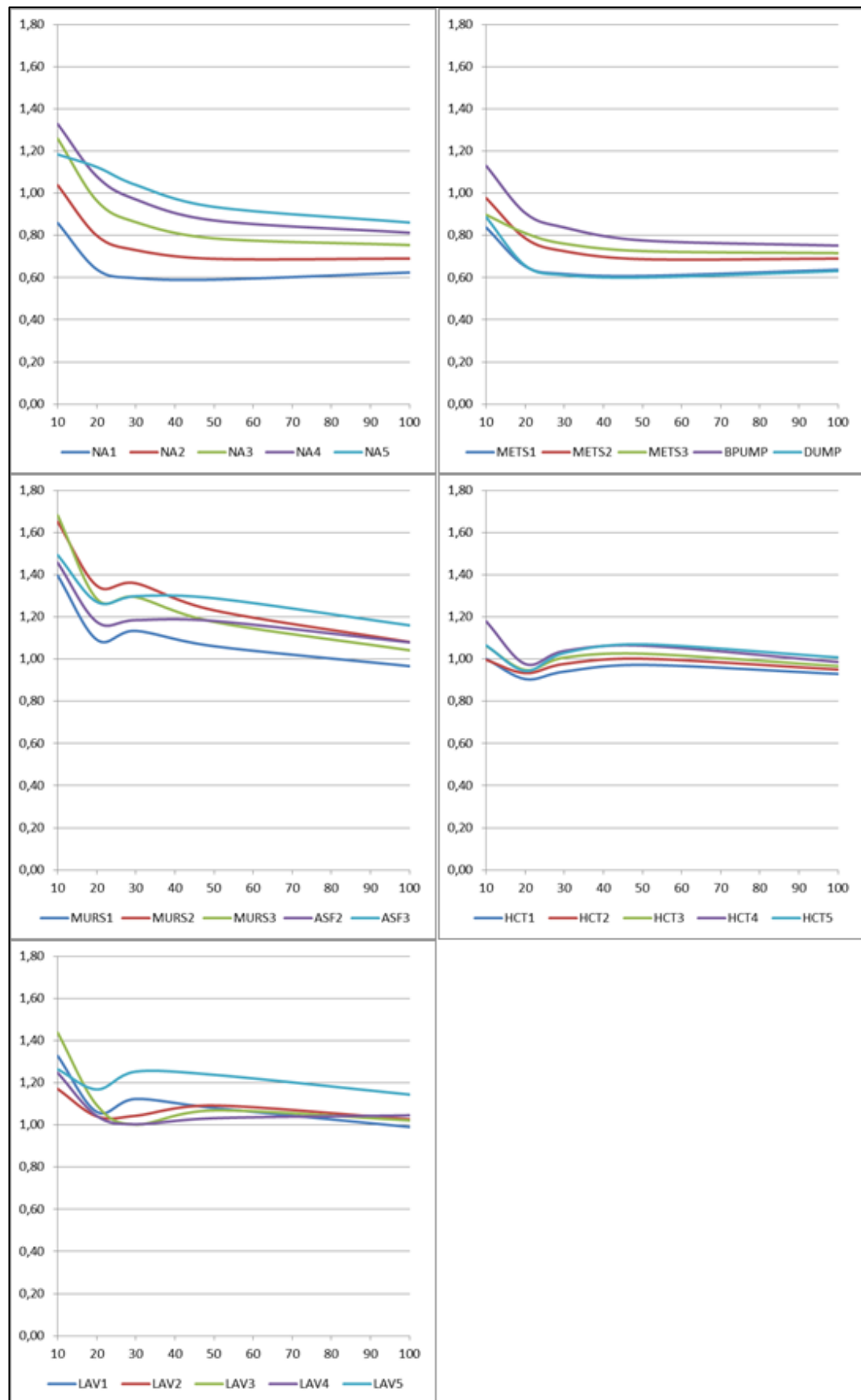
Kuvissa 36, 37, 38, 39 ja 40 on esitetty tutkimuksen erikoiskuljetusajoneuvoista aiheutuvat suhteelliset rasitukset suhteessa Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaiseen kuormaan, jossa on huomioitu mitoitussajoneuvot AA/42 ja AA/76 sekä pintakuorma $4,5 \text{ kN/m}^2$. Erikoiskuljetusajoneuvot on sijoitettu sillalle Siltojen kantavuuslaskentaohjeen [4] mukaan käyttäen erikoiskuljetusajoneuvoille tässä tutkimuksessa määriteltäviä akselikaavioita kokonaismassan ominaisarvoilla. Sillat ovat symmetrisiä kaksiaukkoisia siltoja, joiden jännemitat ovat 10 - 100 m. Kuvat 36, 37, 38, 39 ja 40 on muodostettu murtorajatilan osavarmuuslukujen mukaan tilanteessa, jossa määräävältä kaistalta kuormat huomioidaan kokonaisuudessaan ja toisen kaistan kuormista huomioidaan 33 %.



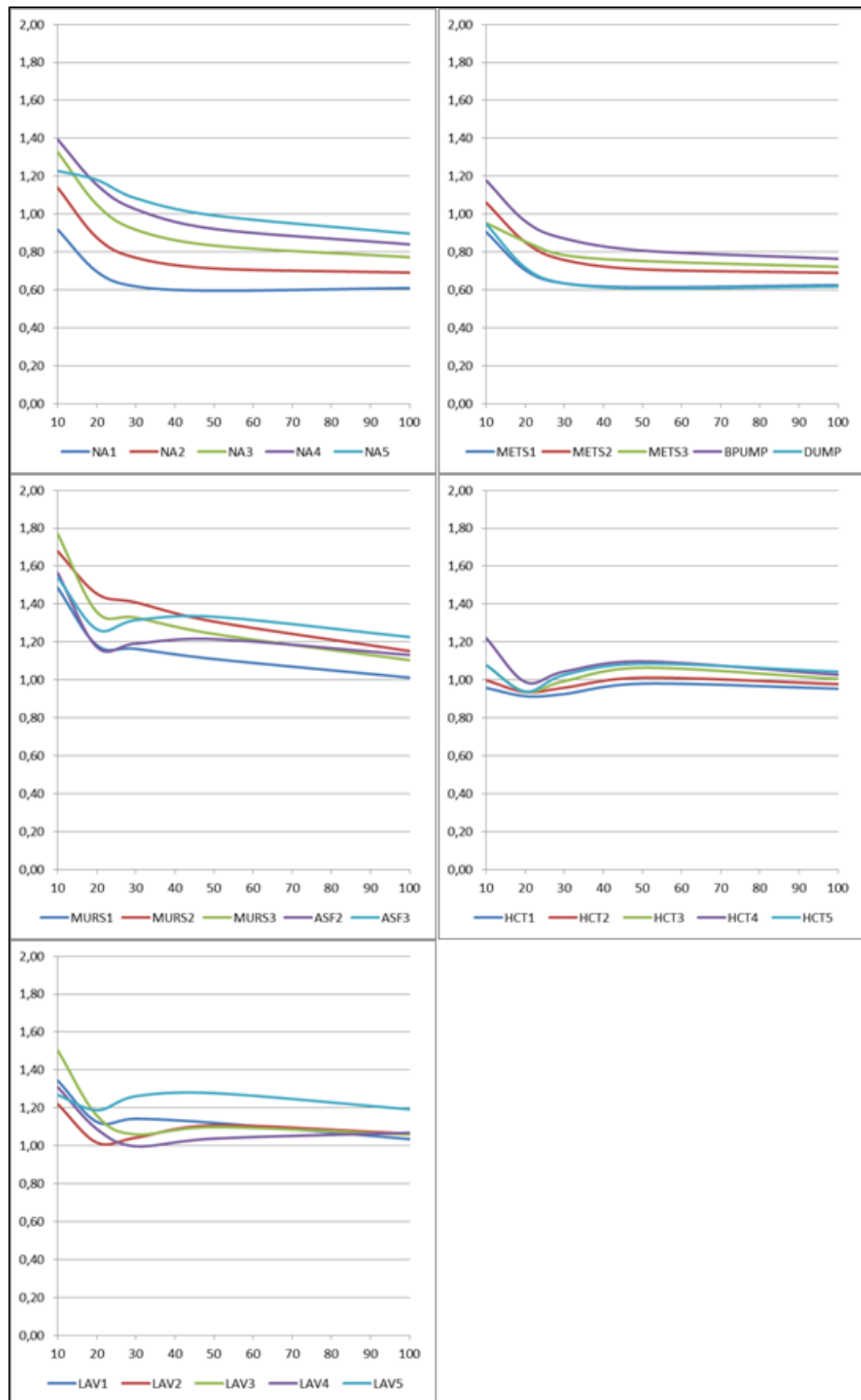
Kuva 36. Erikoiskuljetusajoneuvojen suhteelliset tukimomentit



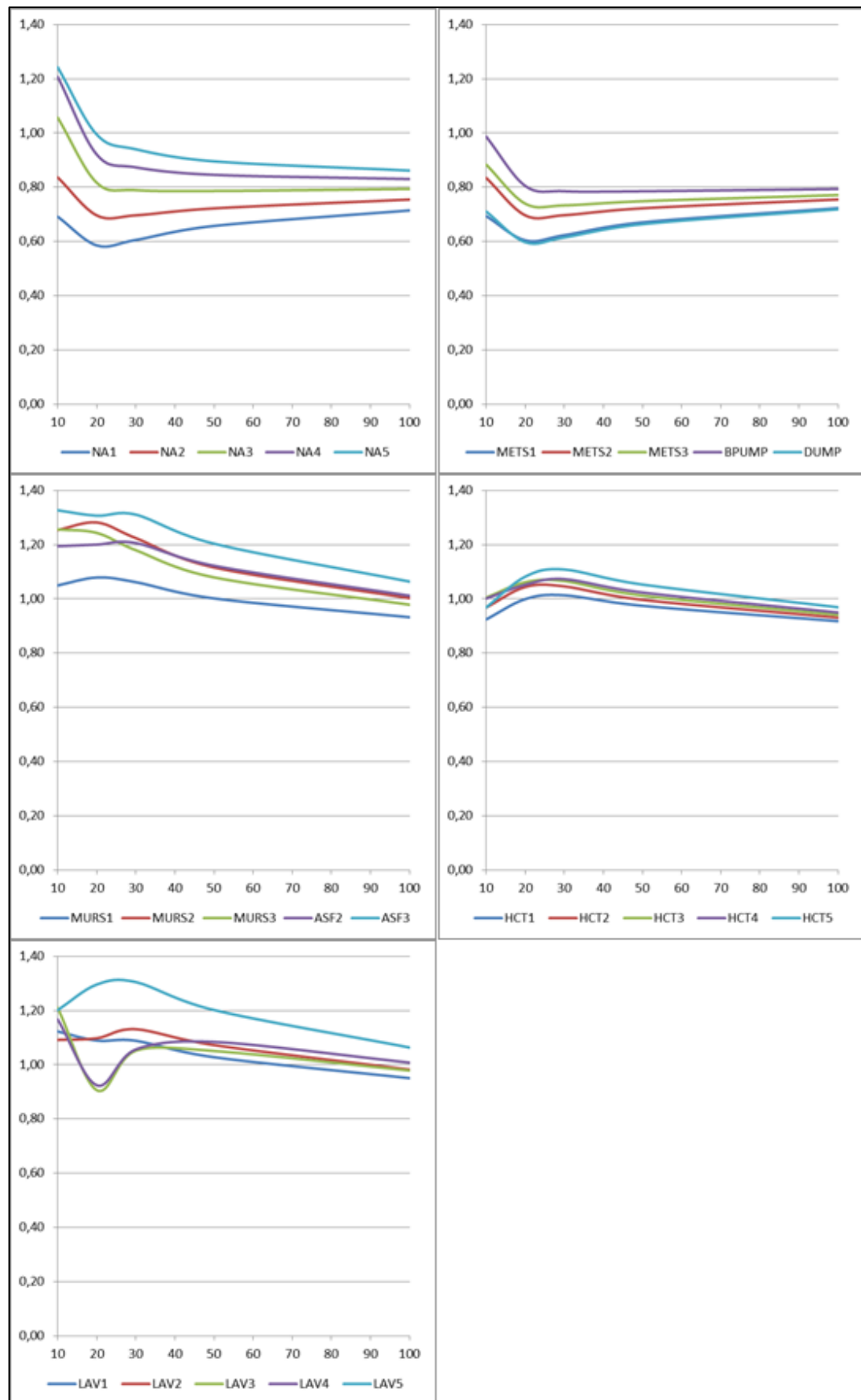
Kuva 37. Erikoiskuljetusajoneuvojen suhteelliset aukkomomentit



Kuva 38. Erikoiskuljetusajoneuvojen suhteelliset leikkausvoimat keskituella



Kuva 39. Erikoiskuljetusajoneuvojen suhteelliset leikkausvoimat reunatuella



Kuva 40. Erikoiskuljetusajoneuvojen suhteelliset tukireaktiot keskituella

LIITE D: RASITUSTEN YLITYKSIEN TODENNÄKÖISYYDET

Taulukoissa 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 ja 44 on esitetty todennäköisyydet, joilla simuloitua rasitusta ylittävät vertailtavat kuormat. Ylityksen todennäköisyydessä on huomioitu se rasitusuure, joka antaa suurimman todennäköisyyden ylitykseen. Ylityksen todennäköisyydet on ilmoitettu jännemitoittain liikenneluokissa 1 ja 2 käyttö- ja murto-rajatilan kuormille.

Taulukko 37. Rasitusten ylityksien todennäköisyydet, käyttörajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 0 %

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Ylityksen todennäköisyys KRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0									
		Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
		10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	2,75E-04	-	-	-	-	3,19E-04	-	-	-	-
	NA	0,511	7,92E-04	-	-	1,41E-06	0,075	7,38E-06	-	-	-
	METS	-	-	-	1,23E-06	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	7,89E-06	-	-	-	-	5,92E-06	-
	MURS	0,343	1,08E-05	4,52E-05	0,002	-	0,208	1,58E-05	-	-	-
	LAV	0,042	-	-	1,17E-06	-	0,177	-	-	2,54E-06	-
	Kaikki	0,692	7,92E-04	4,53E-05	0,002	2,23E-06	0,397	1,58E-05	-	8,53E-06	-
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	0,477	1,000	1,000	-	-	0,002	0,874	0,999
	NA	0,099	0,157	0,146	0,295	0,732	0,001	0,034	0,005	0,019	0,018
	METS	-	-	5,66E-06	0,169	0,692	-	-	2,45E-06	0,022	0,070
	HCT	-	-	0,055	0,903	0,983	-	-	0,094	0,811	0,974
	MURS	0,010	0,722	0,803	0,894	0,938	0,020	0,438	0,737	0,606	0,747
	LAV	1,25E-05	0,018	0,989	0,979	1,000	4,80E-04	0,322	0,999	1,000	0,997
	Kaikki	0,108	0,728	0,999	1,000	1,000	0,022	0,619	1,000	1,000	1,000
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	0,477	1,000	1,000	-	-	0,002	0,874	1,000
	NA	0,099	0,157	0,146	0,295	0,800	0,001	0,034	0,005	0,019	0,031
	METS	-	-	5,66E-06	0,169	0,778	-	-	2,45E-06	0,022	0,099
	HCT	-	-	0,055	0,903	0,992	-	-	0,094	0,811	0,987
	MURS	0,010	0,722	0,803	0,894	0,957	0,020	0,438	0,737	0,606	0,823
	LAV	1,25E-05	0,018	0,989	0,979	1,000	4,80E-04	0,322	0,999	1,000	0,999
	Kaikki	0,108	0,728	0,999	1,000	1,000	0,022	0,619	1,000	1,000	1,000
AA13	Norm.liik.	1,000	1,000	0,896	1,000	0,999	1,000	0,999	0,711	0,750	0,122
	NA	1,000	1,000	0,993	0,851	0,223	1,000	1,000	0,983	0,586	0,025
	METS	1,000	0,971	0,042	0,123	0,039	1,000	0,958	0,208	0,014	0,002
	HCT	0,994	0,999	0,526	0,968	0,467	0,999	1,000	0,975	1,000	0,553
	MURS	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000	0,995	1,000	0,934
	LAV	1,000	1,000	1,000	1,000	0,986	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Kaikki	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Taulukko 38. Rasitusten ylityksien todennäköisyydet, murtorajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 0 %

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Ylityksen todennäköisyys MRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0									
		Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
		10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	4,61E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	-	-	-	-	-	3,81E-05	-	-	-	-
	LAV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaikki	4,61E-04	-	-	-	-	3,81E-05	-	-	-	-
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	-	0,006	4,32E-06	-	-	-	-	-
	NA	-	8,37E-06	1,61E-06	-	5,03E-04	-	-	-	-	-
	METS	-	-	-	8,91E-05	1,72E-05	-	-	-	4,41E-06	-
	HCT	-	-	-	0,002	4,32E-04	-	-	-	0,001	6,21E-06
	MURS	-	1,20E-06	0,003	0,038	0,001	-	-	3,73E-04	1,56E-05	1,22E-05
	LAV	-	-	-	0,001	2,11E-05	-	-	0,003	0,002	2,56E-05
	Kaikki	-	9,58E-06	0,003	0,047	0,001	-	-	0,003	0,003	3,28E-05
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	9,39E-06	0,674	0,996	-	-	-	0,009	0,010
	NA	4,52E-04	0,003	6,01E-04	9,94E-05	0,032	-	1,33E-04	6,07E-06	1,44E-04	7,77E-06
	METS	-	-	-	0,007	0,007	-	-	-	4,32E-04	1,91E-04
	HCT	-	-	1,55E-05	0,168	0,091	-	-	7,69E-05	0,108	0,017
	MURS	5,02E-06	0,015	0,131	0,349	0,077	3,72E-05	0,016	0,062	0,016	0,013
	LAV	-	-	0,031	0,244	0,069	-	3,27E-06	0,467	0,282	0,047
	Kaikki	4,52E-04	0,015	0,158	0,867	0,997	3,72E-05	0,016	0,500	0,374	0,072
AA13	Norm.liik.	0,998	0,051	1,09E-06	7,29E-05	-	0,935	0,038	-	-	-
	NA	0,990	0,869	0,310	0,027	3,07E-05	0,920	0,634	0,094	0,001	-
	METS	0,102	0,001	-	8,82E-06	-	0,124	6,94E-04	-	-	-
	HCT	-	1,39E-04	3,54E-06	1,12E-04	-	0,001	9,54E-04	2,08E-05	7,45E-05	-
	MURS	0,998	0,967	0,410	0,173	0,002	0,913	0,774	0,138	0,120	7,30E-04
	LAV	0,998	0,382	0,012	0,053	1,43E-04	1,000	0,916	0,314	0,477	3,30E-06
	Kaikki	1,000	0,980	0,593	0,189	0,003	1,000	0,981	0,338	0,499	7,34E-04

Taulukko 39. Rasitusten ylityksien todennäköisyydet, käyttörajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 33 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Ylityksen todennäköisyys KRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0,33									
		Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
		10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	0,031	6,83E-04	-	-	-	5,58E-05	7,38E-06	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	6,55E-04	1,49E-05	3,95E-05	1,92E-05	-	0,004	1,65E-05	-	-	-
	LAV	-	-	-	-	-	3,36E-06	-	-	-	-
	Kaikki	0,032	6,83E-04	3,96E-05	1,92E-05	-	0,004	1,65E-05	-	-	-
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	0,754	1,000	1,000	-	-	4,68E-04	0,874	0,149
	NA	0,112	0,156	0,208	0,414	0,164	0,001	0,034	0,005	0,024	0,002
	METS	-	-	1,96E-05	0,189	0,051	-	-	1,75E-06	0,021	0,002
	HCT	-	2,52E-06	0,100	0,965	0,497	-	-	0,096	0,831	0,219
	MURS	0,012	0,755	0,828	0,925	0,840	0,020	0,440	0,737	0,606	0,550
	LAV	1,80E-05	0,021	0,992	0,984	0,858	4,55E-04	0,329	0,999	0,997	0,969
	Kaikki	0,122	0,760	1,000	1,000	1,000	0,022	0,624	1,000	1,000	0,986
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	0,754	1,000	1,000	-	-	4,68E-04	0,874	0,294
	NA	0,112	0,156	0,208	0,414	0,191	0,001	0,034	0,005	0,024	0,002
	METS	-	-	1,96E-05	0,189	0,087	-	-	1,75E-06	0,021	0,002
	HCT	-	2,52E-06	0,100	0,965	0,510	-	-	0,096	0,831	0,219
	MURS	0,012	0,755	0,828	0,925	0,840	0,020	0,440	0,737	0,606	0,550
	LAV	1,80E-05	0,021	0,992	0,984	0,858	4,55E-04	0,329	0,999	0,997	0,969
	Kaikki	0,122	0,760	1,000	1,000	1,000	0,022	0,624	1,000	1,000	0,986
AA13	Norm.liik.	1,000	1,000	0,909	0,922	0,200	1,000	0,983	0,153	0,007	2,36E-05
	NA	1,000	1,000	0,961	0,555	0,017	1,000	0,997	0,895	0,215	9,28E-04
	METS	0,975	0,800	7,35E-04	0,006	0,002	0,987	0,725	0,031	3,19E-04	7,80E-05
	HCT	0,512	0,865	0,195	0,517	0,007	0,903	0,994	0,330	0,890	0,003
	MURS	1,000	1,000	0,995	0,999	0,687	1,000	1,000	0,929	0,977	0,376
	LAV	1,000	1,000	0,999	0,998	0,552	1,000	1,000	1,000	1,000	0,843
	Kaikki	1,000	1,000	1,000	1,000	0,879	1,000	1,000	1,000	1,000	0,902

Taulukko 40. Rasitusten ylityksien todennäköisyydet, murtorajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 33 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Ylityksen todennäköisyys MRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0,33									
		Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
		10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LAV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaikki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	-	8,46E-06	1,16E-06	-	-	-	-	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	-	4,03E-06	1,77E-04	3,07E-05	-	-	6,48E-05	6,57E-06	-	-
	LAV	-	-	-	-	-	-	-	2,28E-06	-	-
	Kaikki	-	1,02E-05	1,79E-04	3,07E-05	-	-	6,48E-05	6,57E-06	-	-
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	0,002	0,023	0,039	-	-	-	-	1,22E-06
	NA	6,07E-04	0,003	0,002	1,18E-04	0,006	-	1,33E-04	6,02E-06	1,01E-06	7,77E-06
	METS	-	-	-	1,34E-04	0,001	-	-	-	3,66E-06	3,34E-05
	HCT	-	-	1,54E-04	0,003	0,001	-	-	7,13E-05	0,002	7,67E-05
	MURS	5,02E-06	0,018	0,138	0,053	0,044	3,72E-05	0,016	0,062	5,01E-04	0,013
	LAV	-	-	0,070	0,002	0,041	-	3,83E-06	0,471	0,003	0,016
	Kaikki	6,07E-04	0,018	0,202	0,079	0,126	3,72E-05	0,016	0,504	0,005	0,024
AA13	Norm.liik.	0,950	0,002	-	-	-	0,480	8,39E-04	-	-	-
	NA	0,952	0,619	0,089	0,002	-	0,691	0,312	0,018	2,03E-05	-
	METS	0,008	7,05E-06	-	-	-	0,009	3,37E-06	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	4,20E-06	-	-	-	-
	MURS	0,976	0,587	0,185	0,006	-	0,749	0,313	0,021	0,025	-
	LAV	0,952	0,003	6,84E-04	4,43E-04	-	1,000	0,131	0,014	0,004	-
	Kaikki	1,000	0,749	0,258	0,006	-	1,000	0,403	0,031	0,025	-

Taulukko 41. Rasitusten ylityksien todennäköisyydet, käyttörajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 67 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Ylityksen todennäköisyys KRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0,67									
		Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
		10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	3,26E-05	5,58E-04	-	-	-	-	7,38E-06	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	4,35E-04	1,70E-05	3,11E-05	-	-	7,06E-06	1,74E-05	-	2,09E-06	-
	LAV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaikki	4,38E-04	5,60E-04	3,11E-05	-	-	7,06E-06	1,74E-05	-	2,09E-06	-
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	-	9,96E-06	0,928	0,999	0,704	-	-	0,008	0,003	5,01E-06
	NA	0,149	0,178	0,095	0,024	0,009	0,001	0,032	0,005	5,70E-04	1,12E-04
	METS	-	-	2,34E-04	0,003	0,003	-	-	-	1,24E-04	3,57E-05
	HCT	-	0,007	0,132	0,251	0,024	-	0,002	0,082	0,061	2,48E-04
	MURS	0,021	0,837	0,610	0,366	0,366	0,020	0,441	0,460	0,127	0,120
	LAV	5,20E-04	0,143	0,863	0,384	0,305	0,001	0,420	0,965	0,454	0,313
	Kaikki	0,167	0,861	0,996	1,000	0,720	0,022	0,676	0,979	0,525	0,396
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	-	9,96E-06	1,000	1,000	1,000	-	-	0,111	0,078	0,137
	NA	0,149	0,178	0,310	0,056	0,181	0,001	0,032	0,005	0,002	0,002
	METS	-	-	4,85E-04	0,024	0,088	-	-	-	9,50E-04	0,002
	HCT	-	0,007	0,266	0,610	0,687	-	0,002	0,167	0,259	0,285
	MURS	0,021	0,837	0,879	0,697	0,860	0,020	0,441	0,739	0,179	0,559
	LAV	5,20E-04	0,143	0,990	0,847	0,959	0,001	0,420	0,999	0,765	0,974
	Kaikki	0,167	0,861	1,000	1,000	1,000	0,022	0,676	1,000	0,844	0,989
AA13	Norm.liik.	0,999	0,977	0,923	0,939	0,040	0,912	0,260	0,016	0,015	-
	NA	0,983	0,968	0,733	0,303	7,75E-04	0,835	0,828	0,388	0,044	1,94E-05
	METS	0,115	0,094	0,006	3,77E-04	1,23E-04	0,069	0,012	1,01E-04	6,35E-05	1,83E-06
	HCT	0,006	0,630	0,046	0,422	2,57E-04	8,09E-04	0,716	0,022	0,229	-
	MURS	0,996	1,000	0,852	0,931	0,133	0,850	0,989	0,461	0,681	0,029
	LAV	0,998	0,999	0,857	0,863	0,084	1,000	1,000	0,963	0,999	0,035
	Kaikki	1,000	1,000	0,996	1,000	0,225	1,000	1,000	0,977	1,000	0,063

Taulukko 42. Rasitusten ylityksien todennäköisyydet, murtorajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 67 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Ylityksen todennäköisyys MRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0,67									
		Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
		10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LAV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaikki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	-	-	1,38E-06	-	-	-	-	-	-	-
	LAV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaikki	-	-	1,38E-06	-	-	-	-	-	-	-
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	-	-	0,001	-	-	-	-	-
	NA	0,001	0,003	2,30E-04	1,15E-04	8,36E-05	-	1,02E-04	4,93E-06	-	1,75E-06
	METS	-	-	-	-	1,05E-05	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	2,28E-06	4,14E-06	-	-	-	-	-
	MURS	2,17E-06	0,025	0,007	0,004	0,028	3,72E-05	0,016	1,78E-04	5,18E-04	0,004
	LAV	-	3,12E-06	6,30E-05	2,15E-04	0,011	-	1,41E-05	4,15E-05	1,31E-04	7,40E-04
	Kaikki	0,001	0,025	0,008	0,004	0,039	3,72E-05	0,016	2,04E-04	6,50E-04	0,005
AA13	Norm.liik.	0,004	3,22E-05	-	-	-	1,96E-04	-	-	-	-
	NA	0,290	0,211	0,012	5,08E-05	-	0,004	0,042	0,001	-	-
	METS	1,55E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	3,28E-06	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	0,097	0,114	0,063	2,14E-04	-	0,043	0,052	0,002	0,005	-
	LAV	0,025	1,41E-04	1,07E-05	6,72E-05	-	0,084	7,74E-04	3,89E-04	-	-
	Kaikki	0,326	0,283	0,074	2,15E-04	-	0,114	0,053	0,002	0,005	-

Taulukko 43. Rasitusten ylityksien todennäköisyydet, käyttörajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 100 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Ylityksen todennäköisyys KRT, poikkisuuntainen jakautuminen 1									
		Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
		10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	6,46E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	7,94E-05	3,38E-05	7,33E-06	-	-	2,69E-06	1,84E-05	-	5,09E-06	-
	LAV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaikki	1,44E-04	3,46E-05	7,33E-06	-	-	2,69E-06	1,84E-05	-	5,10E-06	-
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,002	0,171	0,596	0,981	0,416	7,57E-04	2,13E-04	0,003	1,33E-04	-
	NA	0,175	0,069	0,011	0,003	0,001	4,70E-04	0,003	8,74E-04	3,05E-05	1,03E-06
	METS	2,57E-06	7,15E-05	5,64E-04	4,51E-04	3,41E-04	-	5,29E-06	-	1,16E-04	-
	HCT	-	0,090	0,053	0,038	0,002	-	0,039	0,029	0,016	7,78E-06
	MURS	0,041	0,780	0,087	0,145	0,022	0,013	0,349	0,043	0,025	0,001
	LAV	0,032	0,430	0,325	0,137	0,068	0,013	0,477	0,208	0,087	0,002
	Kaikki	0,234	0,905	0,747	0,984	0,422	0,026	0,667	0,264	0,115	0,004
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,002	0,517	0,998	1,000	1,000	7,57E-04	0,045	0,030	0,032	0,362
	NA	0,224	0,264	0,091	0,069	0,225	0,001	0,031	0,005	0,001	0,004
	METS	6,46E-06	0,002	0,010	0,005	0,054	-	3,77E-05	1,71E-05	0,001	0,001
	HCT	3,42E-06	0,283	0,420	0,265	0,730	2,79E-06	0,130	0,196	0,138	0,335
	MURS	0,065	0,861	0,477	0,542	0,871	0,020	0,443	0,236	0,158	0,574
	LAV	0,052	0,551	0,786	0,539	0,969	0,024	0,614	0,692	0,564	0,947
	Kaikki	0,313	0,962	1,000	1,000	1,000	0,045	0,794	0,785	0,684	0,991
AA13	Norm.liik.	0,884	0,948	0,996	1,000	0,203	0,267	0,051	0,025	0,226	-
	NA	0,644	0,609	0,185	0,239	2,45E-04	0,067	0,189	0,013	0,009	3,38E-06
	METS	0,009	0,029	0,007	0,019	7,78E-04	1,13E-04	6,58E-05	-	0,002	-
	HCT	0,003	0,539	0,077	0,558	0,001	0,001	0,323	0,040	0,290	1,78E-05
	MURS	0,483	0,994	0,279	0,675	0,032	0,196	0,842	0,073	0,218	0,002
	LAV	0,572	0,940	0,670	0,747	0,039	0,824	0,972	0,649	0,867	0,005
	Kaikki	0,989	1,000	0,999	1,000	0,260	0,896	0,997	0,688	0,943	0,007

Taulukko 44. Rasitusten ylityksien todennäköisyydet, murtorajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 100 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Ylityksen todennäköisyys MRT, poikkisuuntainen jakautuminen 1									
		Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
		10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LAV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaikki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	METS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MURS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LAV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kaikki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	-	-	-	2,14E-04	5,81E-04	-	-	-	-	-
	NA	0,005	0,002	5,05E-05	1,70E-04	2,23E-06	-	9,64E-06	4,31E-06	1,76E-06	-
	METS	-	-	3,08E-06	-	2,37E-05	-	-	-	1,61E-05	-
	HCT	-	3,88E-06	-	0,003	1,18E-06	-	1,19E-06	-	0,002	-
	MURS	5,74E-05	0,002	0,010	0,027	0,002	3,72E-05	3,30E-04	1,48E-05	0,001	2,23E-05
	LAV	3,70E-05	4,32E-05	1,82E-05	0,013	2,69E-04	1,85E-06	6,82E-06	1,04E-04	0,006	1,87E-06
	Kaikki	0,005	0,004	0,010	0,032	0,002	3,91E-05	3,36E-04	1,08E-04	0,009	2,24E-05
AA13	Norm.liik.	1,14E-04	-	-	3,86E-06	-	1,14E-04	-	-	-	-
	NA	0,039	0,012	2,41E-06	-	-	-	1,43E-04	3,87E-06	-	-
	METS	-	1,63E-06	-	-	-	-	-	-	-	-
	HCT	-	1,27E-04	-	2,20E-05	-	-	3,70E-06	-	1,79E-06	-
	MURS	4,11E-04	0,019	0,003	1,76E-04	-	1,57E-04	0,004	1,42E-06	0,001	-
	LAV	2,91E-04	0,002	2,64E-05	1,72E-04	-	1,81E-05	6,10E-04	4,27E-05	1,30E-04	-
	Kaikki	0,040	0,021	0,003	2,81E-04	-	2,27E-04	0,005	4,49E-05	0,002	-

LIITE E: SIMULOITUJEN RASITUSTEN PIENENNYSKERTOIMET

Taulukoissa 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 ja 52 on esitetty tutkimuksessa käytettyjä varmuustasoja vastaavat simuloitujen rasitusten pienennyskertoimet. Pienennyskertoimissa on huomioitu se rasitussuure, jonka pienennystarve on määräävin. Pienennyskertoimet on ilmoitettu jännemitoittain liikenneluokissa 1 ja 2 käyttö- ja murtorajatilan kuormille.

Taulukko 45. Rasitusten pienennyskertoimet, käyttörajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 0 %

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Varmuustaso	Rasitusten pienennyskertoimet KRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,001	0,75	1	1	1	1	0,85	1	1	1	1
	METS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	0,8	1	1	0,95	1	0,8	1	1	1	1
	LAV	0,001	0,9	1	1	1	1	0,85	1	1	1	1
	Kaikki	0,005	0,75	1	1	1	1	0,8	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,005	1	1	0,85	0,7	0,55	1	1	1	0,8	0,65
	NA	0,005	0,85	0,85	0,85	0,85	0,6	1	0,9	0,95	0,9	0,9
	METS	0,005	1	1	1	0,8	0,65	1	1	1	0,9	0,8
	HCT	0,005	1	1	0,9	0,7	0,6	1	1	0,9	0,7	0,65
	MURS	0,005	0,95	0,8	0,7	0,65	0,55	0,95	0,8	0,75	0,8	0,75
	LAV	0,005	1	0,95	0,8	0,7	0,6	1	0,9	0,7	0,7	0,6
	Kaikki	0,01	0,9	0,8	0,7	0,65	0,55	0,95	0,8	0,7	0,7	0,6
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,01	1	1	0,9	0,7	0,55	1	1	1	0,8	0,65
	NA	0,01	0,9	0,85	0,9	0,9	0,6	1	0,95	1	0,95	0,9
	METS	0,01	1	1	1	0,8	0,65	1	1	1	0,95	0,8
	HCT	0,01	1	1	0,9	0,7	0,55	1	1	0,9	0,75	0,65
	MURS	0,01	0,95	0,8	0,7	0,65	0,55	0,95	0,8	0,75	0,8	0,75
	LAV	0,01	1	0,95	0,8	0,7	0,6	1	0,9	0,7	0,7	0,6
	Kaikki	0,05	0,95	0,85	0,75	0,7	0,55	1	0,85	0,75	0,75	0,65
AA13	Norm.liik.	0,1	0,6	0,7	0,85	0,75	0,85	0,65	0,75	0,9	0,9	0,95
	NA	0,1	0,5	0,55	0,65	0,75	0,95	0,6	0,6	0,7	0,85	1
	METS	0,1	0,7	0,8	1	0,95	1	0,7	0,8	0,95	1	1
	HCT	0,1	0,85	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,75	0,85	0,8	0,9
	MURS	0,1	0,55	0,55	0,6	0,65	0,75	0,55	0,55	0,7	0,7	0,8
	LAV	0,1	0,55	0,65	0,75	0,7	0,8	0,55	0,6	0,7	0,65	0,75
	Kaikki	0,1	0,5	0,55	0,6	0,65	0,75	0,55	0,55	0,65	0,65	0,75

Taulukko 46. Rasitusten pienennyskertoimet, murtorajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 0 %

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Varmuustaso	Rasitusten pienennyskertoimet MRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00001	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00001	1	1	1	1	1	0,95	1	1	1	1
	LAV	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,00005	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,00005	1	1	1	0,9	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00005	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1	1
	METS	0,00005	1	1	1	0,95	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00005	1	1	1	0,9	0,9	1	1	1	0,9	1
	MURS	0,00005	1	1	0,9	0,75	0,85	1	1	0,95	1	1
	LAV	0,00005	1	1	1	0,9	1	1	1	0,9	0,9	1
	Kaikki	0,0001	1	1	0,9	0,8	0,9	1	1	0,9	0,9	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,0001	1	1	1	0,8	0,8	1	1	1	0,9	0,9
	NA	0,0001	0,95	0,9	0,9	1	0,75	1	0,95	1	0,95	1
	METS	0,0001	1	1	1	0,85	0,85	1	1	1	0,9	0,95
	HCT	0,0001	1	1	1	0,8	0,75	1	1	1	0,8	0,85
	MURS	0,0001	1	0,9	0,75	0,65	0,7	1	0,85	0,8	0,85	0,85
	LAV	0,0001	1	1	0,9	0,8	0,8	1	1	0,8	0,8	0,8
	Kaikki	0,0005	1	0,9	0,8	0,7	0,75	1	0,9	0,8	0,8	0,85
AA13	Norm.liik.	0,001	0,75	0,9	1	1	1	0,75	0,9	1	1	1
	NA	0,001	0,55	0,65	0,75	0,85	1	0,7	0,7	0,8	0,95	1
	METS	0,001	0,85	0,95	1	1	1	0,85	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	0,95	1	1	1	1
	MURS	0,001	0,65	0,65	0,65	0,85	0,95	0,65	0,7	0,8	0,8	1
	LAV	0,001	0,7	0,85	0,9	0,9	1	0,7	0,8	0,85	0,85	1
	Kaikki	0,001	0,55	0,6	0,65	0,85	0,95	0,65	0,7	0,8	0,8	1

Taulukko 47. Rasitusten pienennyskertoimet, käyttörajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 33 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Varmuus- taso	Rasitusten pienennyskertoimet KRT,poikisuuntainen jakautuminen 0,33										
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2					
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m	
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,001	0,85	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	1	1	1	1	1	0,95	1	1	1	1	1
	LAV	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,005	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,005	1	1	0,8	0,7	0,75	1	1	1	0,8	0,9	
	NA	0,005	0,85	0,85	0,85	0,85	0,75	1	0,9	0,95	0,9	1	
	METS	0,005	1	1	1	0,8	0,85	1	1	1	0,9	1	
	HCT	0,005	1	1	0,9	0,7	0,75	1	1	0,9	0,7	0,85	
	MURS	0,005	0,95	0,8	0,7	0,6	0,75	0,95	0,8	0,75	0,8	0,8	
	LAV	0,005	1	0,95	0,75	0,7	0,75	1	0,9	0,7	0,7	0,8	
	Kaikki	0,01	0,9	0,8	0,7	0,65	0,75	0,95	0,8	0,7	0,7	0,8	
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,01	1	1	0,85	0,7	0,75	1	1	1	0,8	0,85	
	NA	0,01	0,9	0,85	0,85	0,85	0,75	1	0,95	1	0,95	1	
	METS	0,01	1	1	1	0,85	0,85	1	1	1	0,95	1	
	HCT	0,01	1	1	0,9	0,7	0,75	1	1	0,9	0,75	0,85	
	MURS	0,01	0,95	0,8	0,7	0,65	0,75	0,95	0,8	0,75	0,8	0,8	
	LAV	0,01	1	0,95	0,8	0,7	0,8	1	0,9	0,7	0,7	0,8	
	Kaikki	0,05	0,95	0,85	0,75	0,7	0,75	1	0,85	0,75	0,75	0,8	
AA13	Norm.liik.	0,1	0,65	0,75	0,85	0,85	0,95	0,7	0,8	0,95	1	1	
	NA	0,1	0,55	0,6	0,7	0,85	1	0,65	0,65	0,75	0,95	1	
	METS	0,1	0,8	0,85	1	1	1	0,8	0,85	1	1	1	
	HCT	0,1	0,95	0,85	0,95	0,9	1	0,85	0,85	0,95	0,9	1	
	MURS	0,1	0,6	0,6	0,65	0,75	0,85	0,6	0,65	0,75	0,75	0,9	
	LAV	0,1	0,6	0,75	0,8	0,75	0,9	0,6	0,7	0,75	0,7	0,9	
	Kaikki	0,1	0,55	0,6	0,65	0,75	0,85	0,6	0,65	0,75	0,7	0,9	

Taulukko 48. Räsitusten pienennyskertoimet, murtorajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 33 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu- kuorma	Varmuus- taso	Rasitusten pienennyskertoimet MRT, poikittsuuntainen jakautuminen 0,33										
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2					
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m	
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00005	1	1	0,95	1	1	1	0,95	1	1	1	1
	LAV	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,0001	1	1	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,0001	1	1	0,95	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1
	NA	0,0001	0,95	0,9	0,9	0,95	0,85	1	0,95	1	1	1	1
	METS	0,0001	1	1	1	0,95	0,9	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,0001	1	1	0,95	0,9	0,95	1	1	1	0,9	1	1
	MURS	0,0001	1	0,85	0,75	0,75	0,8	1	0,85	0,8	0,95	0,85	1
	LAV	0,0001	1	1	0,9	0,9	0,85	1	1	0,8	0,9	0,9	0,9
	Kaikki	0,0005	0,95	0,9	0,8	0,8	0,85	1	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9
AA13	Norm.liik.	0,001	0,8	0,95	1	1	1	0,8	1	1	1	1	1
	NA	0,001	0,6	0,7	0,8	0,95	1	0,75	0,75	0,85	1	1	1
	METS	0,001	0,9	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	0,7	0,7	0,7	0,95	1	0,65	0,75	0,9	0,85	1	1
	LAV	0,001	0,75	0,95	1	1	1	0,75	0,9	0,9	0,95	1	1
	Kaikki	0,001	0,6	0,7	0,7	0,95	1	0,65	0,75	0,85	0,85	1	1

Taulukko 49. Rasitusten pienennyskertoimet, käyttörajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 67 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Varmuus- taso	Rasitusten pienennyskertoimet KRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0,67									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,005	1	1	0,8	0,75	0,85	1	1	0,95	1	1
	NA	0,005	0,85	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,9	1	1	1
	METS	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,005	1	0,95	0,9	0,85	0,9	1	1	0,9	0,9	1
	MURS	0,005	0,95	0,8	0,75	0,75	0,8	0,95	0,8	0,8	0,85	0,85
	LAV	0,005	1	0,9	0,75	0,85	0,85	1	0,85	0,75	0,85	0,9
	Kaikki	0,01	0,85	0,8	0,75	0,75	0,85	0,95	0,8	0,75	0,85	0,9
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,01	1	1	0,75	0,7	0,7	1	1	0,9	0,95	0,9
	NA	0,01	0,85	0,85	0,8	0,9	0,8	1	0,95	1	1	1
	METS	0,01	1	1	1	0,95	0,85	1	1	1	1	1
	HCT	0,01	1	1	0,85	0,8	0,8	1	1	0,85	0,85	0,85
	MURS	0,01	0,95	0,8	0,7	0,75	0,75	0,95	0,8	0,75	0,85	0,8
	LAV	0,01	1	0,9	0,7	0,8	0,7	1	0,9	0,7	0,8	0,8
	Kaikki	0,05	0,9	0,8	0,75	0,75	0,7	1	0,85	0,75	0,8	0,8
AA13	Norm.liik.	0,1	0,8	0,85	0,85	0,9	1	0,85	0,95	1	1	1
	NA	0,1	0,7	0,7	0,8	0,9	1	0,8	0,8	0,9	1	1
	METS	0,1	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,1	1	0,85	1	0,9	1	1	0,9	1	0,95	1
	MURS	0,1	0,75	0,65	0,75	0,8	0,95	0,8	0,7	0,85	0,8	1
	LAV	0,1	0,75	0,75	0,85	0,8	1	0,75	0,75	0,8	0,8	1
	Kaikki	0,1	0,7	0,65	0,75	0,8	0,95	0,75	0,7	0,8	0,8	1

Taulukko 50. Rasitusten pienennyskertoimet, murtorajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 67 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Varmuus- taso	Rasitusten pienennyskertoimet MRT, poikkisuuntainen jakautuminen 0,67									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,0001	1	1	1	1	0,95	1	1	1	1	1
	NA	0,0001	0,9	0,9	0,95	0,95	1	1	0,95	1	1	1
	METS	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,0001	1	0,85	0,8	0,9	0,85	1	0,85	0,95	0,95	0,9
	LAV	0,0001	1	1	1	0,95	0,9	1	1	1	0,95	0,95
	Kaikki	0,0005	0,95	0,9	0,85	0,9	0,9	1	0,85	1	0,95	0,9
AA13	Norm.liik.	0,001	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,001	0,7	0,75	0,9	1	1	0,95	0,85	0,95	1	1
	METS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	0,8	0,8	0,8	1	1	0,85	0,85	0,95	0,9	1
	LAV	0,001	0,9	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1
	Kaikki	0,001	0,7	0,75	0,8	1	1	0,85	0,85	0,95	0,9	1

Taulukko 51. Rasitusten pienennyskertoimet, käyttörajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 100 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Varmuus- taso	Rasitusten pienennyskertoimet KRT, poikkisuuntainen jakautuminen 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,005	1	0,9	0,9	0,75	0,9	1	1	1	1	1
	NA	0,005	0,8	0,85	0,95	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,005	1	0,85	0,9	0,9	1	1	0,9	0,9	0,95	1
	MURS	0,005	0,9	0,75	0,85	0,85	0,9	0,95	0,8	0,9	0,9	1
	LAV	0,005	0,9	0,8	0,8	0,85	0,9	0,95	0,8	0,85	0,9	1
	Kaikki	0,01	0,85	0,75	0,8	0,8	0,9	0,95	0,8	0,85	0,9	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,01	1	0,9	0,8	0,75	0,7	1	0,95	0,95	0,95	0,85
	NA	0,01	0,85	0,8	0,9	0,9	0,85	1	0,95	1	1	1
	METS	0,01	1	1	0,95	1	0,9	1	1	1	1	1
	HCT	0,01	1	0,85	0,85	0,85	0,8	1	0,85	0,85	0,85	0,85
	MURS	0,01	0,9	0,75	0,8	0,75	0,7	0,95	0,8	0,85	0,85	0,75
	LAV	0,01	0,9	0,8	0,75	0,8	0,7	0,95	0,8	0,8	0,8	0,75
	Kaikki	0,05	0,9	0,8	0,8	0,75	0,7	1	0,85	0,8	0,85	0,8
AA13	Norm.liik.	0,1	0,85	0,85	0,85	0,85	0,95	0,9	1	1	0,95	1
	NA	0,1	0,8	0,85	0,95	0,95	1	1	0,95	1	1	1
	METS	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,1	1	0,85	1	0,85	1	1	0,9	1	0,9	1
	MURS	0,1	0,9	0,75	0,9	0,85	1	0,95	0,8	1	0,9	1
	LAV	0,1	0,85	0,8	0,85	0,8	1	0,9	0,8	0,9	0,85	1
	Kaikki	0,1	0,8	0,75	0,85	0,8	0,95	0,9	0,75	0,9	0,85	1

Taulukko 52. Rasitusten pienennyskertoimet, murtorajatila, poikkisuuntainen jakautuminen 100 %

Vertailu- kuorma	Simuloitu kuorma	Varmuus- taso	Rasitusten pienennyskertoimet MRT, poikkisuuntainen jakautuminen 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,0001	1	1	1	0,95	0,95	1	1	1	1	1
	NA	0,0001	0,85	0,9	1	0,95	1	1	1	1	1	1
	METS	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,0001	1	1	1	0,9	1	1	1	1	0,9	1
	MURS	0,0001	1	0,85	0,8	0,8	0,9	1	0,95	1	0,9	1
	LAV	0,0001	1	1	1	0,85	0,95	1	1	0,95	0,9	1
	Kaikki	0,0005	0,9	0,9	0,85	0,85	0,95	1	1	1	0,9	1
AA13	Norm.liik.	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,001	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	1	0,9	0,95	1	1	1	0,95	1	0,95	1
	LAV	0,001	1	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,001	0,8	0,85	0,95	1	1	1	0,95	1	0,95	1

LIITE F: VARMUUSTASON VAIKUTUS RASITUSTEN PIENENNENNYSKERTOIMIIN

Taulukoissa 53, 54, 55, 56 ja 57 on esitetty pienennyskertoimet erilaisilla varmuustasoilla murtorajatilassa..

Taulukko 53. Rasitusten pienennyskertoimet 100-kertaisesti pienennetyillä todennäköisyyksillä murtorajatilassa

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Todennäköisyys	0,01x _{tod.näk.} , rasitusten pienennyskertoimet MRT, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,0000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,0000001	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,0000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,0000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,0000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,0000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,0000005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,0000005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,0000005	0,95	0,9	0,95	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,0000005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,0000005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,0000005	1	0,95	0,8	0,9	1	1	0,9	0,95	1	1
	LAV	0,0000005	1	1	1	1	1	1	1	0,95	1	1
	Kaikki	0,000001	1	0,95	0,85	0,9	1	1	0,9	0,95	1	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,000001	1	1	0,9	0,85	0,85	1	1	1	1	0,95
	NA	0,000001	0,8	0,8	0,85	0,85	0,75	1	0,85	0,9	0,95	0,9
	METS	0,000001	1	1	0,95	0,85	0,8	1	1	1	0,9	0,85
	HCT	0,000001	1	0,95	0,9	0,8	0,85	1	0,95	0,9	0,8	0,9
	MURS	0,000001	0,9	0,75	0,7	0,7	0,75	0,9	0,75	0,75	0,75	0,8
	LAV	0,000001	0,9	0,9	0,85	0,8	0,8	0,95	0,95	0,75	0,85	0,85
	Kaikki	0,0000005	0,8	0,8	0,7	0,7	0,75	0,95	0,8	0,75	0,8	0,8
AA13	Norm.liik.	0,00001	0,75	0,9	1	1	1	0,75	0,9	1	1	1
	NA	0,00001	0,55	0,6	0,7	0,85	1	0,7	0,65	0,7	0,95	1
	METS	0,00001	0,85	1	1	1	1	0,85	1	1	1	1
	HCT	0,00001	1	0,9	1	0,95	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00001	0,6	0,65	0,6	0,85	1	0,6	0,7	0,8	0,75	1
	LAV	0,00001	0,7	0,9	0,9	0,9	1	0,7	0,85	0,85	0,9	1
	Kaikki	0,00001	0,55	0,6	0,6	0,85	1	0,6	0,65	0,7	0,75	1

Taulukko 54. Rasitusten pienennyskertoimet 10-kertaisesti pienennetyillä todennäköisyyksillä murtorajatilassa

Vertailukuorma	Simuloitu kuorma	Todennäköisyys	0,1x _{tod.näk.} , rasitusten pienennyskertoimet MRT, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,000001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,000005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,000005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,000005	1	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,000005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,000005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,000005	1	1	0,85	0,95	1	1	0,9	0,95	1	1
	LAV	0,000005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,00001	1	0,95	0,9	0,95	1	1	0,95	1	1	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,00001	1	1	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1
	NA	0,00001	0,8	0,85	0,85	0,9	0,8	1	0,9	1	1	1
	METS	0,00001	1	1	1	0,9	0,85	1	1	1	0,95	0,95
	HCT	0,00001	1	1	0,9	0,85	0,9	1	1	0,95	0,85	0,95
	MURS	0,00001	0,95	0,8	0,75	0,75	0,8	0,95	0,8	0,75	0,8	0,85
	LAV	0,00001	0,95	0,95	0,85	0,8	0,8	1	0,95	0,75	0,85	0,9
	Kaikki	0,000005	0,85	0,85	0,75	0,75	0,8	1	0,85	0,75	0,85	0,85
AA13	Norm.liik.	0,0001	0,75	0,95	1	1	1	0,8	0,95	1	1	1
	NA	0,0001	0,55	0,65	0,75	0,9	1	0,7	0,7	0,8	1	1
	METS	0,0001	0,9	1	1	1	1	0,85	1	1	1	1
	HCT	0,0001	1	0,95	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,0001	0,65	0,65	0,65	0,9	1	0,65	0,7	0,85	0,8	1
	LAV	0,0001	0,7	0,9	0,95	0,95	1	0,7	0,85	0,85	0,95	1
	Kaikki	0,0001	0,55	0,65	0,65	0,9	1	0,65	0,7	0,8	0,8	1

Taulukko 55. Rasitusten pienennyskertoimet tukimuksen varmuustasojen mukaisilla todennäköisyyksillä murtorajatilassa

Vertailu- kuorma	Simuloitu- kuorma	Todennä- köisyys	Rasitusten pienennyskertoimet murtorajatilalla, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,00001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,00005	1	1	0,95	1	1	1	0,95	1	1	1
	LAV	0,00005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,0001	1	1	0,95	1	1	1	1	1	1	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,0001	1	1	0,95	0,9	0,9	1	1	1	1	1
	NA	0,0001	0,85	0,9	0,9	0,95	0,85	1	0,95	1	1	1
	METS	0,0001	1	1	1	0,95	0,9	1	1	1	1	1
	HCT	0,0001	1	1	0,95	0,9	0,95	1	1	1	0,9	1
	MURS	0,0001	1	0,85	0,75	0,75	0,8	1	0,85	0,8	0,9	0,85
	LAV	0,0001	1	1	0,9	0,85	0,85	1	1	0,8	0,9	0,9
	Kaikki	0,0005	0,9	0,9	0,8	0,8	0,85	1	0,85	0,8	0,9	0,9
AA13	Norm.liik.	0,001	0,8	0,95	1	1	1	0,8	1	1	1	1
	NA	0,001	0,6	0,7	0,8	0,95	1	0,75	0,75	0,85	1	1
	METS	0,001	0,9	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	0,7	0,7	0,7	0,95	1	0,65	0,75	0,9	0,85	1
	LAV	0,001	0,75	0,95	1	1	1	0,75	0,9	0,9	0,95	1
	Kaikki	0,001	0,6	0,7	0,7	0,95	1	0,65	0,75	0,85	0,85	1

Taulukko 56. Rasitusten pienennyskertoimet 10-kertaisilla todennäköisyyksillä murtorajatilassa

Vertailu- kuorma	Simuloitu- kuorma	Todennä- köisyys	10xtod.näk., rasitusten pienennyskertoimet MRT, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,0001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,0005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,0005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,0005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,0005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,0005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,0005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,0005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,001	1	1	0,95	0,95	0,95	1	1	1	1	1
	NA	0,001	0,9	0,95	0,95	1	0,9	1	1	1	1	1
	METS	0,001	1	1	1	1	0,95	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	0,95	0,95	1	1	0,95	1
	MURS	0,001	1	0,9	0,8	0,85	0,85	1	0,9	0,85	0,95	0,9
	LAV	0,001	1	1	0,9	0,9	0,9	1	1	0,8	0,95	0,95
	Kaikki	0,005	0,95	0,95	0,85	0,9	0,9	1	0,95	0,85	0,95	0,95
AA13	Norm.liik.	0,01	0,8	1	1	1	1	0,85	1	1	1	1
	NA	0,01	0,65	0,75	0,9	1	1	0,8	0,8	0,95	1	1
	METS	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,01	0,75	0,8	0,8	1	1	0,75	0,8	0,95	0,95	1
	LAV	0,01	0,8	1	1	1	1	0,75	0,9	0,95	1	1
	Kaikki	0,01	0,65	0,75	0,8	1	1	0,75	0,8	0,95	0,95	1

Taulukko 57. Rasitusten pienennyskertoimet 100-kertaisilla todennäköisyyksillä murtorajatilassa

Vertailu- kuorma	Simuloitu- kuorma	Todennä- köisyys	100xtod.näk., rasitusten pienennyskertoimet MRT, jakautuminen 0,33 ; 0,67 ; 1									
			Liikenneluokka1					Liikenneluokka2				
			10m	20m	30m	50m	100m	10m	20m	30m	50m	100m
LM1 / LM3	Norm.liik.	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lk1 / Ek1	Norm.liik.	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NA	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	LAV	0,005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kaikki	0,010	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ak1 / Ek1	Norm.liik.	0,01	1	1	1	0,95	0,95	1	1	1	1	1
	NA	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	METS	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,01	1	0,95	0,85	0,9	0,95	1	0,95	0,9	1	0,95
	LAV	0,01	1	1	0,95	0,95	0,95	1	1	0,85	1	0,95
	Kaikki	0,05	1	1	0,9	0,95	0,95	1	1	0,9	1	1
AA13	Norm.liik.	0,1	0,85	1	1	1	1	0,95	1	1	1	1
	NA	0,1	0,75	0,85	1	1	1	0,85	0,9	1	1	1
	METS	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	HCT	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	MURS	0,1	0,8	0,9	0,9	1	1	0,8	0,9	1	1	1
	LAV	0,1	0,8	1	1	1	1	0,8	0,95	1	1	1
	Kaikki	0,1	0,75	0,8	0,9	1	1	0,8	0,9	1	1	1